

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки Приборостроение
 Отделение школы Отделение контроля и диагностики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Контроль параметров электрического провода при его производстве
УДК <u>658.562.47:621.315.3.002</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ72	Бердалинов Саян		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вавилова Г.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фадеева В.Н.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вавилова Г.В.	к.т.н.		

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Применять навыки эффективной индивидуальной и командной работы, включая руководство командой, работу по междисциплинарной тематике с учетом этики и корпоративных интересов, в том числе и на иностранном языке.	Требования ФГОС (УК-1, УК-3, УК-4, УК-5, УК-6, ОПК- 1, ОПК-2, ПК-12), CDIO Syllabus (2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 3.1, 3.2, 3.3, 4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.2, п. 2.3, п. 2.4, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю,)
P2	Применять навыки управления разработкой и производством продукции на всех этапах ее жизненного цикла с учетом инновационных рисков коммерциализации проектов, в том числе в нестандартных ситуациях.	Требования ФГОС (УК-1, УК-2, УК-6, ОПК-2, ОПК-3, ПК-6, ПК -8), CDIO Syllabus (2.1, 2.4, 2.5, 3.2, 4.1, 4.2, 4.3, 4.6, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, п. 2.3, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (29.004 Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов, 40.053 Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса, 40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 29.006 Специалист по проектированию систем в корпусе, 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам)
P3	Собирать, хранить, обрабатывать, использовать, представлять и защищать информацию при соблюдении требований информационной безопасности и корпоративной культуры.	Требования ФГОС (УК-5, УК-6, ОПК-1, ПК-1, ПК-3, ПК-4, ПК-9), CDIO Syllabus (1.1, 2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю.
P4	Применять навыки планирования, подготовки, проведения теоретических и экспериментальных исследований, а также представления и интерпретации полученных результатов.	Требования ФГОС (УК-1, УК-2, ОПК-2, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-8, ПК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, п.1.2, п.1.4), CDIO Syllabus (2.1, 2.2, 4.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами)
P5	Разрабатывать нормативную, техническую и методическую документацию в области неразрушающего контроля и измерительной техники.	Требования ФГОС (УК-1, УК-2, ОПК-2, ПК-3, ПК-9, ПК- 11), CDIO Syllabus (1.2, 4.4), Критерий 5 АИОР (п.1.3, п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник)
P6	Быть готовым к комплексной профессиональной деятельности при разработке инновационных и эффективных методов и средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (УК-1, УК-2, ОПК-2, ОПК-3, ПК-5, ПК-6, ПК-8, ПК- 10, ПК-11, ПК-13, ПК-14, ПК-15), CDIO Syllabus (1.2, 1.3, 2.3, 4.1, 4.4, 4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, п. 1.3, п. 1.4, п.1.5, п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (19.016 Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов, 29.004 Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов, 40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции, 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам, 29.006 Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Р7	Разрабатывать и внедрять энерго- и ресурсоэффективные технологические процессы производства приборных систем с использованием высокотехнологичных средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (УК-2, УК-6, ОПК-3, ПК-7, ПК-8, ПК-10, ПК- 11, ПК-12, ПК-14, ПК -15), CDIO Syllabus (1.3, 4.1, 4.2, 4.5. 4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (19.016 Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов, 29.004 Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптотехники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов, 40.053 Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности

Направление подготовки Приборостроение

Отделение школы Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Г.В. Вавилова

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ72	Бердалинов Саян

Тема работы:

Контроль параметров электрического провода при его производстве

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№9757/с от 09.11.2018

Срок сдачи студентом выполненной работы:

04.06.2019

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Набор из 4-х проводов, с разными диаметрами жилы, изоляции, толщины изоляции. 1.1 Провод АПВ-1х2,5 с пвх изоляцией. Длина 10 м, с двумя дефектами изоляции. 1.2 Провод ПВ1-11х1,5 с пвх изоляцией. Длина 10 м, с двумя дефектами изоляции. 1.3 Провод ПВ3-1х1,5 с пвх изоляцией. Длина 10 м, с двумя дефектами изоляции. 1.4 Провод ПВС-1х0.75 с пвх изоляцией. Длина 10 м, с двумя дефектами изоляции.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Подобрать приборы для реализации имитационной модели технологической линии. 2. Собрать упрощенную имитационную модель технологической линии контроля геометрических параметров (диаметр, длина и скорость провода) и электрических параметров (погонная емкость) электрического провода. 3. Провести эксперименты на имитационной модели по измерению диаметра жилы, диаметра провода, толщины изоляции, погонной емкости проводов с помощью имитационной модели.

Перечень графического материала	—
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Фадеева Вера Николаевна
«Социальная ответственность»	Федорчук Юрий Митрофанович
"Иностранный язык"	Смирнова Ульяна Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Технологический процесс производства, параметры качества, виды кабельно-проводниковых изделий	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.10.2018

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вавилова Галина Васильевна	к.т.н.,		05.10.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ72	Бердалинов Саян		05.10.2018

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ72	Бердалинов Саян

Школа	ИШНКБ	Отделение школы	ОКД
Уровень образования	Магистр	Направление	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1.Предпроектный анализ: Потенциальные потребители результатов исследования Анализ конкурентных технических решений Оценка готовности проекта к коммерциализации Методы коммерциализации результатов научно–технического исследования
2. Разработка устава научно-технического проекта	2. Инициация проекта: Цели и результат проекта Организационная структура проекта Ограничения и допущения проекта
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	3. Планирование управления научно-техническим проектом: Иерархическая структура работ проекта, Контрольные события проекта, План проекта. Календарный план график Бюджет научного исследованиями
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	4. Расчет интегрального показателя эффективности научного исследования.

Перечень графического материала

1. Карта сегментирования рынка
2. Иерархическая структура работ
3. Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	2.03.2019
--	-----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Фадеева Вера Николаевна	к.ф.н.		2.03.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ72	Бердалинов Саян		2.03.2019

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ72	Бердалинов Саян

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

*Объект исследования: рабочее место инженера для контроля параметров электрического провода.
Оборудование для проведения исследований: измеритель диаметра провода, измеритель электрической емкости провода, измеритель длины и скорости провода*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой работы

*Вредные производственные факторы:
– Электромагнитное излучение;
– Пары ПВХ пластика;
– Шум от вращения барабанов;
– Недостаточная освещенность.
Опасные производственные факторы:
– Электрический ток;
– Высокая температура экструдера;
– Наличие механических вращающихся барабанов.*

2. Мероприятия по снижению и защите от вредных и опасных факторов

Определения, единицы измерения вредных и опасных факторов. Средства индивидуальной и коллективной защиты.

3. Расчет освещенности

*Выбор системы освещения;
Выбор источников света;
Выбор светильников и их размещение;
Выбор нормируемой освещенности;
Расчет освещения методом светового потока.*

4. Электробезопасность

Класс электробезопасности помещения, безопасные значения тока и напряжения.

5. Пожарная безопасность

Класс пожароопасности помещения, марки огнетушителей.

6. Экологическая безопасность

Перечисление образующихся отходов, классификация отходов. Утилизация отходов.

7. Безопасность в чрезвычайных ситуациях (ЧС)

*природная ЧС (мороз), техногенная ЧС (несанкционированный доступ).
Способы защиты.*

8. Законодательные акты

Законодательные акты, использованные в написании раздела

Перечень графического материала

*План рабочего места инженера
План размещения светильников в помещении
План эвакуации*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	11.03.2019
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения общетехнических дисциплин	Федорчук Юрий Митрофанович	д.т.н.		11.03.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ72	Бердалинов Саян		11.03.2019

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 125 стр., 51 рис., 45 таблиц, 32 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: кабель, провод, диаметр провода, толщина изоляции, эксцентриситет, электрическая прочность изоляции, длина провода, погонная емкость, дефект изоляции провода.

Объектом исследования является технологический процесс производства электрического провода.

Цель работы – исследование основных параметров электрического провода, подлежащих контролю в технологическом процессе, и выявлению наиболее перспективных методов контроля.

В процессе работы проводились:

- Изучение технологического процесса производства, определение основных геометрических и электрических параметров проводов, подлежащих контролю в процессе изготовления.
- Обзор и сравнение существующих методов и приборов контроля геометрических и электрических параметров проводов.
- Подбор приборов измерения диаметра, скорости, длины и погонной емкости одножильных проводов для проведения экспериментов.

В результате исследования собрана упрощенная имитационную модель технологической линии контроля параметров электрического провода, проведены эксперименты на имитационной модели по измерению диаметра жилы, диаметра провода, толщины изоляции, погонной емкости одножильных проводов.

Области применения: кабельная промышленность.

В будущем планируются применять полученные результаты в производстве кабельных изделий.

Определения, обозначения, сокращения,

Определения

Кабельные изделия – электрические изделия, применяемые для передачи электрической энергии, различного рода электрических сигналов, информации [1].

Волочение – это процесс обработки металлических заготовок, прутков путем протягивания через плавно сужающееся отверстие волокна [1].

Экструзия – это процесс непрерывного выдавливания вязкого расплава материала или густой пасты через формующее отверстие [1].

Погонная (удельная) емкость – емкость, отнесенная к единице длины кабеля или провода [2].

Дефект изоляции (брак изоляции) – это отклонение геометрических и электрических параметров провода от предусмотренного техническими условиями требованиям качества [2].

Сокращения:

ПВХП – Поливинилхлорид пластификат;

ПЭНП – Полиэтилен низкой плотности;

ПЭВП – Полиэтилен высокой плотности;

ЭИ – Электрическое испытание;

АСИ – Аппарат сухих испытаний;

АПВ – Провод алюминиевый;

ПВ – Провод медный;

ПВС – Провод соединительный.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	14
1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА, ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА, ВИДЫ КАБЕЛЬНО-ПРОВОДНИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ	16
1.1 Обзор технологического процесса производства провода	16
1.2 Параметры качества проводов	20
1.3 Электрические параметры качества проводов	25
1.4 Виды кабельно-проводниковых изделий	26
2 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОВОДОВ	29
2.1 Измерители диаметра провода	29
2.1.1 Контактные методы измерения	29
2.1.2 Оптические методы измерения (бесконтактные методы)	30
2.2 Измерители толщины изоляции	35
2.2.1 Емкостной (контактный) метод измерения толщины	35
2.2.2 Ультразвуковой метод измерения толщины	36
2.2.3 Оптический метод измерения толщины	37
2.3 Измерители эксцентриситета	38
2.3.1 Вихретоковый метод измерения эксцентриситета	38
2.3.2 Индуктивно-оптический метод измерения эксцентриситета	40
2.4 Контроль электрической прочности изоляции	41
2.5 Измерители длины	43
2.5.1 Электромеханические измерители длины	44
2.5.2 Метод использования магнитных меток	45
2.5.3 Метод лазерных Доплеровских измерителей скорости и длины (ЛДИСД)	46
2.6 Измерители емкости кабельных изделий	48
2.6.1 Контактные измерители емкости	48
2.6.2 Бесконтактные измерители емкости	49
2.6.3 Измерители емкости с применением жидкостного электрода	50
3 СОЗДАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОВОДА. ВЫБОР ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ	52
3.1 Создание имитационной модели технологической линии	52
3.2 Выбор приборов контроля и измерения	54
3.2.1 Измеритель диаметра «Циркада-2.7»	54
3.2.2 Измеритель емкости «САР-10»	56

3.2.3 Измеритель длины и скорости «Дельта-2.4».....	59
3.3 Имитационная модель.....	61
4 КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ВЫЯВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ ПРОВОДА С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ	63
4.1 Образцы проводов, используемых в эксперименте	63
4.2 Измерение геометрических параметров проводов.....	63
4.2.1 Измерение геометрических параметров с помощью микрометра «EDM-25-0.001».....	64
4.2.2 Измерение геометрических параметров в технологической линии с помощью измерителя диаметра «Циклада 2.7».....	65
4.3 Измерение погонной емкости.....	66
4.3.1 Измерение погонной емкости с помощью RLC измерителя AM-3001	66
4.3.2 Измерение погонной емкости с помощью измерителя «CAP-10»	68
4.4 Обнаружение дефектов изоляции с помощью измерителя емкости «CAP- 10».....	68
4.4.1 Обнаружение дефектов на проводе АПВ	68
4.4.2 Обнаружение дефектов на проводе ПВ1.....	70
4.4.3 Обнаружение дефектов на проводе ПВ3.....	72
4.4.4 Обнаружение дефектов на проводе ПВС	73
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	75
5.1 Предпроектный анализ.....	75
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	75
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	76
5.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	78
5.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	79
5.2 Инициация проекта.....	80
5.3 Планирование управления научно-техническим проектом.....	82
5.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	82
5.3.2 Контрольные события проекта.....	82
5.3.3 План проекта	83
5.3.4 Бюджет научного исследования.....	85
5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	90

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	94
6.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов проектируемой работы	94
6.2 Мероприятия по снижению и защите от вредных и опасных факторов....	95
6.3 Электробезопасность.....	101
6.4 Пожарная Безопасность.....	102
6.5 Экологическая Безопасность.....	103
6.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях (ЧС).....	104
6.7 Законодательные акты, использованные в написании раздела.....	104
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	106
Список публикаций.....	108
Список использованных источников	109
Приложение А.....	113

ВВЕДЕНИЕ

Производство различных кабельных изделий и проводов является перспективной и ключевой областью промышленности. Ассортимент кабельной продукции очень большой. Широко используемыми являются медные и алюминиевые провода с изоляцией из поливинилхлорида пластиката (ПВХП), полиэтиленов низкой плотности (ПЭНП), полиэтиленов высокой плотности (ПЭВП), резины и пластмассы. Главным критерием при производстве проводов и кабелей является высокое качество.

Постоянство геометрических и электрических параметров по всей длине кабелей и проводов определяет его качество. Эти параметры нормируются государственными стандартами и техническими условиями [1,4-7].

К геометрическим параметрам проводов относятся: диаметры жилы и изоляции, толщина нанесенной изоляции, эксцентриситет, длина электрического провода [1].

К электрическим параметрам проводов относятся электрическое сопротивление жилы, сопротивление изоляции, емкость, индуктивность, волновое сопротивление провода, электрическая прочность изоляции [1, 5,8].

Существует большое количество приборов контроля и измерения геометрических и электрических параметров провода. Количество используемых приборов контроля в технологической линии может изменяться. Все зависит от разнообразия выпускаемой продукции и от возможности предприятия. Но нет необходимости использовать все приборы для контроля каждого параметра. Некоторые приборы позволяют контролировать несколько параметров, поэтому экономически целесообразно использовать такие приборы.

Геометрические и электрические параметры взаимосвязаны. Наличие дефекта жилы или изоляции изменяет не только геометрические параметры, но и электрические параметры (сопротивление жилы и изоляции, емкость).

Изменение емкости может свидетельствовать о наличии дефекта изоляции провода. Также значение емкости является важным параметром для кабелей связи и коаксиальных кабелей.

Цель диссертационной работы – исследование основных параметров электрического провода, подлежащих контролю в технологическом процессе, и выявлению наиболее перспективных методов контроля для повышения качества выпускаемой продукции.

В магистерской диссертации поставлены задачи:

- Изучить технологические стадии производства, параметры проводниковых изделия, подвергающиеся контролю в процессе производства.
- Провести обзор и сравнение существующих методов и приборов контроля параметров проводниковых изделий.
- Подобрать приборы измерения диаметра, скорости, длины и емкости одножильных проводов для проведения эксперимента.
- Собрать упрощенную имитационную модель технологической линии контроля параметров электрического провода.
- Обнаружить дефекты изоляции, геометрические отклонения провода методом измерения погонной емкости.

Объектом научного исследования является технологический процесс производства электрического провода.

Предметом научного исследования является контроль геометрических и электрических параметров при изготовлении провода.

Научная новизна работы состоит в том, что для контроля качества электрических проводов, в технологический процесс внедрено измерение электрической емкости проводов.

1 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА, ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА, ВИДЫ КАБЕЛЬНО-ПРОВОДНИКОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

1.1 Обзор технологического процесса производства провода

Существует большое количество кабельной и проводниковой продукции. Жилы кабелей и проводов могут состоять из медных и алюминиевых проволок. Жилы могут быть многожильные, одножильные, скрученные и нескрученные. В зависимости от конструкции изготовления, внешний диаметр жилы производят в диапазоне от 0,05 до 6 мм.

Процесс производства провода включает в себя волочение, скручивание, нанесение изоляции.

Волочение – это процесс обработки металлических заготовок, прутков путем протягивания через плавно сужающееся отверстие волоки. Проходя через канал, материал деформируется и на выходе принимает размер или форму этой волоки. Исходным материалом для волочения служат непрерывно литые прессованные и катаные заготовки из цветных металлов, легированных и углеродистых сталей [1].

Процесс волочения включает в себя:

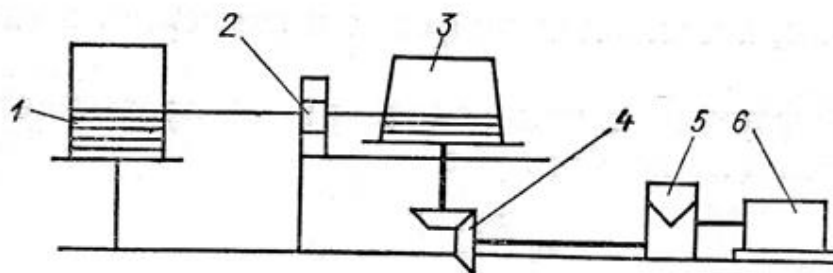
- Травление металлических заготовок в сернокислом растворе, при температуре 50 0С;
- Предварительный отжиг металла, выполняемый для увеличения пластичных характеристик металла;
- Нейтрализация агрессивного раствора для травления и промывка заготовок;
- Использование молота либо ковочных валков для заострения концов металлических заготовок;
- Процесс волочения;
- Выполнение отжига.

Волочение является завершающим циклом в изготовлении провода, ее следующим этапом может стать лишь нанесение изоляции, оплетка, покрытие,

скрутка, экранирование. При несоответствии провода требованиям стандарта, провод отправляется обратно на переработку.

Все волочильные технологические операции производятся на специальных машинах, оборудованных волокой – "глазком" [1].

На рисунке 1.1 представлена общая структура барабанного волочильного стана, которая используется в производстве.



1 – вертушка, 2 – волок, 3 – барабан, 4 – зубчатая передача, 5 – редуктор,
6 – электродвигатель.

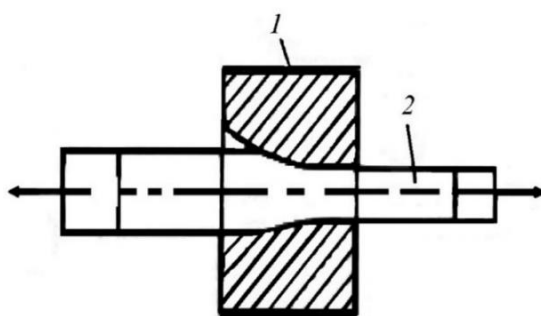
Рисунок 1.1 – Структура волочильного стана

На вертушке 1 барабанного волочильного стана установлен бунт проволоки. Конец бунта проволоки проходит через волок 2, после чего он наматывается на барабан 3. Электродвигатель 6 служит для осуществления процесса волочения. Также в данном процессе задействован редуктор 5, который вращает коническую зубчатую передачу 4. В волочильных станах с многократным волочением площадь поперечного сечения провода сжимается. Вследствие этого скорость каждого следующего барабана увеличивается и может достигать до 2000 м/мин при диаметре барабана 15 – 100 см.

В процессе волочения медные и алюминиевые заготовки проходят термическую обработку. Поверхность заготовок очищается от пыли, окалины, затем их покрывают смазывающим средством. Окалины удаляются путем химической, электрохимической, механической обработки. Такая процедура снимает наклёп, улучшает структуру металла для отжига. Отжиг при температуре 300-3500 °С делает металл ковким и мягким. Добавлении смазки снижает коэффициент трения до 0,04-0,07%. В качестве смазки используют масло с графитом, мыло.

На волочильном стане может быть от 5 до 22 волок (используют в зависимости от деформируемой сложности и диаметра волочения). С каждой волоки скорость проволоки пропорциональна вытяжке λ , то есть на выходе скорость может быть 30–50 м/с (на современных волочильных линиях) [2].

Схема волочения представлена на рисунке 1.2. По мере прохождения провода через волоки, площадь поперечного сечения становится меньше. Процесс волочения ведут в несколько переходов. Переход – это процесс волочения в одну волоку. При этом профиль или диаметр провода постепенно уменьшается.

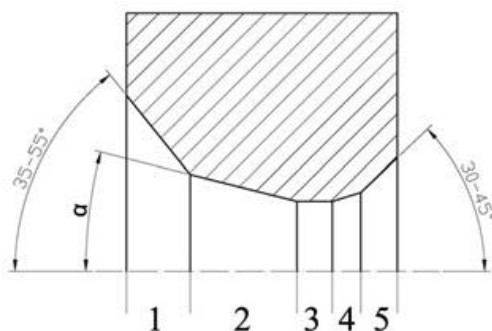


1 – волока, 2 – проволока.

Рисунок 1.2 – Принципиальная схема волочения

Волоки и оправки – главные компоненты волочильной линии. Структуру отверстия разделяют на следующие части: просторную входную часть для беспрепятственного вхождения, смазочную часть для покрытия смазки и деформирующую часть для обжатия заготовки (рисунок 1.3). Далее идет калибрующее кольцо и выходная часть, которая защищает от царапин [1].

Длина калибрующего кольца составляет 0,5 – 1 длины рабочей зоны. Угол наклона α , как правило равен 6–15°. По диаметру проводов волочение делится на плотное (3,5–1,5 мм), среднее (1,6–0,25 мм), тонкое (0,5–0,1мм) и тончайшее (0,02–0,006 мм).



1 – входная часть, 2 – смазочная часть, 3 – калибрующее кольцо, 4 – обратный конус, 5 – выходная зона.

Рисунок 1.3 – Схема отверстия волокна

Скрутка. Скручивания наиболее распространенный технологический процесс в проводниково-кабельной промышленности. Основная цель скрутки – придать проводу или кабелю устойчивую конструкцию и гибкость.

Суть процесса заключается в объединении отдельных проволок, жил, пучков путем вращения по винтовым линиям вокруг центральных элементов.

Главным параметр процесса скрутки, является шаг скрутки. Шагом скрутки H называют расстояние по длине скручиваемого провода, соответствующее одному полному обороту вокруг центрального провода (рисунок 1.4). Шаг скрутки обычно выражается в миллиметрах [2].

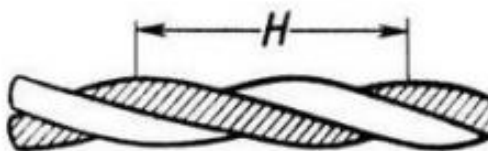


Рисунок 1.4 – Шаг скрутки

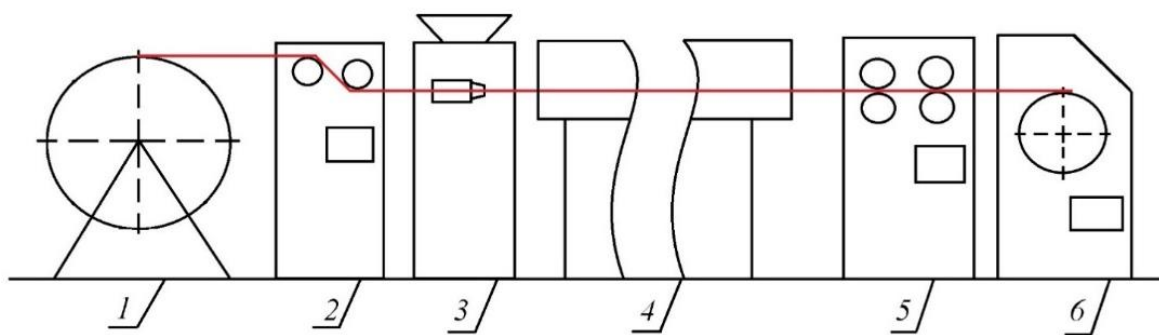
Проволоки должны быть скручены в стренгу или в жилу правильной скруткой. Стренга – это составная часть гибкой многопроволочной жилы, скрученная из нескольких проволок. Проволоки в жиле, в стренге, в проводе должны прилегать друг к другу [2].

Экструзия. Когда есть готовый медный провод, следующей операцией может стать нанесение изоляции или экструзия. Обычно для этого используют поливинилхлорид (ПВХ) с добавлением различных стабилизаторов и

пластификаторов. Нанесение изоляции выполняется на экструзионных машинах.

Экструзия – это процесс непрерывного выдавливания вязкого расплава материала или густой пасты через формующее отверстие [1].

На рисунке 1.5 показана типовая технологическая схема экструзионной линии. Сам процесс можно описать следующим образом. Неизолированный провод разматывается с отдающего устройства 1, проходит через выравнивающее и подогревающее устройство 2. Неизолированный провод нагревается до температуры 100-150 °С. Это необходимо, чтобы оградить продукт от возникновения воздушных включений. Затем провод вводится в головку экструдера 3. Через экструдер расплавленные гранулы пластмассы поступают через кольцевой зазор и равномерно покрывают провод. После, покрытый изоляцией провод охлаждается в ванне 4. Скорость движения провода по экструзионной линии равна 30–60 м/с. Длина охлаждающей ванны должна быть большой, чтобы провод успевал охладиться до 70°С. Слишком медленное остывание провода может привести к дефектам изоляции или смещению жилы. Непрерывное движение провода в экструзионной линии обеспечивает тяговое устройство 5. Готовое изделие наматывается на приёмное устройство 6.



1 – отдающее устройство, 2 – выравнивающее устройство и устройство подогрева, 3 – экструдер, 4 – ванны охлаждения, 5 – тяговое устройство, 6 – приёмное устройство.

Рисунок 1.5 – Схема типовой экструзионной линии

1.2 Параметры качества проводов

Для того чтобы определить качество кабельных изделий существуют государственные стандарты или технические условия предприятий.

Государственные стандарты и технические условия разрабатываются с учетом назначения и спецификой каждой марки кабельно-проводникового изделия:

- Требования к жилам медных и алюминиевых кабелей, проводов и шнуров определяется ГОСТом 22483–77 [4].
- Требования к нормам толщин изоляции, оболочек и испытания напряжением определяется ГОСТом 23286–78 [5].
- Метод измерения электрической емкости определяется ГОСТом 27893–88 [6].
- По ГОСТ 1508–78 кабельно-проводниковые изделия должны удовлетворять следующим параметрам качества: номинальное сечение жилы, толщина изоляции, эксцентриситет, длина кабельного изделия [7].
- Так же провода должны выдержать испытание напряжением по ГОСТ 2990–78 [8].

В процессе изготовления кабельно-проводниковой продукции контролируются следующие конструктивно–технологические параметры:

- диаметр провода;
- толщина изоляции;
- эксцентриситет;
- электрическая прочность изоляции;
- длина провода;

Кроме этих параметров, в ряде случаев контролируют электрическую емкость провода. Это необходимо для телефонных, шахтных, высокочастотных, коаксиальных кабелей и кабелей связи. Для этих кабелей, стандарт электрической емкости устанавливается техническими условиями.

Диаметр проволоки определяется по ГОСТ 22483–77 [4]. По ГОСТ выделяют 6 классов медных и алюминиевых жил. Для кабелей и проводов стационарной прокладки используются жилы 1 и 2 классов. Для кабелей и проводов повышенной гибкости используются жилы 3-6 классов. Жилы могут быть круглыми или фасонными (К и Ф), уплотненными или неуплотненными. Алюминиевые жилы бывают с металлическим покрытием (МП) или без

металлического покрытия (БМП). Медные жилы с круглым сечением могут быть сечением до 150 мм, а алюминиевые жилы с круглым сечением могут быть сечением до 300 мм [3, 4]. В таблице 1.1 приведен пример из ГОСТ 22483–77.

Таблица 1.1 – Медные жилы класса 6 [4].

Номинальное сечение жилы, мм ²	Диаметр проволоки, мм, не более	Электрическое сопротивление постоянному току 1 км круглой жилы при 20°C, Ом, не более	
		нелуженой	луженой
0,03	0,06	669,8	671,5
0,05	0,06	390,9	397,9
0,12	0,09	174,4	174,8

Толщина изоляции для круглого провода определяется как половина разности между диаметром провода и диаметром жилы. Для кабелей и проводов применяют резиновую, пластмассовую, пропитанную бумажную изоляция.

При наименовании материала изоляции и оболочки добавляются индексы: р. – для резины, п. – для пластмассы [5].

Резиновая изоляция изготавливается на основе натуральных или синтетических каучуков. Согласно ГОСТ используются следующие типы изоляционных резин: РТП-0, РТИ-1, РТИ-2, РНИ [2].

Поливинилхлорид пластификат (ПВХП) изоляция представляет собой смеси из поливинилхлорида с пластификаторами, стабилизаторами, которые придают эластичность. ПВХП общего применения обозначаются: И40, И45, И50, И60. ПВХП пониженной горючести обозначаются НГП 40-32 и НГП 30-32 [2].

Полиэтиленовая изоляция изготавливается из полиэтиленов низкой плотности (ПЭНП) и полиэтиленов высокой плотности (ПЭВП). ПЭНП обозначаются трехзначными цифрами начинающиеся с единицы: 102, 107 и т.д. ПЭВП начинаются с цифр: 204, 206, 207 и т.д. [2].

Изоляция из фторопласта (политетрафторэтилена), сокращенно Ф-4, обладает высокими механическими и диэлектрическими свойствами [2].

Толщина изоляции определяется ГОСТом 23286–78 [5]. Главным требованием для изоляций кабельно-проводниковых является номинальное напряжение.

Изоляция проводов согласно ГОСТ 23286–78 [5] делится на 6 категории:

И-1 – кабели и провода в защитном покрове, рассчитанных до 220В переменного напряжения или до 700В постоянного напряжения;

И-2 – кабели и провода без защитного покрова, рассчитанных до 220В переменного напряжения или до 700В постоянного напряжения;

И-3 – кабели и провода в защитном покрове, рассчитанных от 220В до 400В переменного напряжения или от 700 до 1000В постоянного напряжения;

И-4 – кабели и провода без защитного покрова, рассчитанных от 220В до 400В переменного напряжения или от 700 до 1000В постоянного напряжения;

И-5 – кабели и провода, рассчитанных от 400В до 1800В переменного напряжения или от 1000 до 6000В постоянного напряжения;

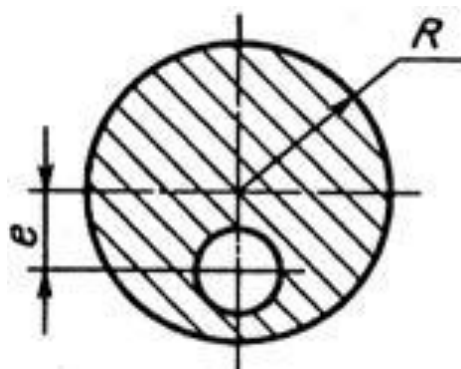
И-6 – кабели и провода, рассчитанных на переменное напряжение 3600В [5].

В таблице 1.2 приведены примеры нормы толщины пластмассовой изоляции.

Таблица 1.2 – Нормы толщины пластмассовой изоляции [5]

Номинальное сечение жил, мм ²	Номинальная толщина пластмассовой изоляции, мм, для категорий					
	Ип-1	Ип-2	Ип-3	Ип-4	Ип-5	Ип-6
0,35	0,5	0,6	0,6	0,7	-	-
10,0	0,8	1,0	1,0	1,2	2,2	3,0
25,0	1,0	1,2	1,2	1,4	2,2	3,0

Эксцентриситет – это смещение центра жилы относительно центра изолированной жилы (рисунок 1.6). Коэффициент эксцентриситета жилы должен определяться из значений эксцентриситета изоляции и радиуса изолируемой жилы.



e – смещение центра жилы от центра изоляции в мм. R – Радиус изолируемой жилы в мм.

Рисунок 1.6 – Эксцентриситет жилы

Электрическая прочность изоляции проверяется повышенным напряжением. Величина напряжения зависит от требования стандартов и технических условий на кабельное изделие. По ГОСТ 23286–78 [5] в зависимости от назначения кабельных изделий, испытания разделяются на следующие категории:

ЭИ–1 – испытание изоляции жил, длительным переменным напряжением частоты 50 Гц.

ЭИ–2 – испытание изоляции жил, переменным напряжением частотой от 50 Гц до 5 кГц на проход [5,8].

В таблице 1.3 приведены значения испытательного напряжения.

Таблица 1.3 – Нормы испытательных напряжений по категории «ЭИ-2» [5]

Номинальная толщина изоляции, мм	Пиковое значение испытательного напряжения, кВ	
	Резиновая изоляция	Пластмассовая изоляция
0,60	6	12
0,70	7	14
0,80	8	16
2,00	20	28
3,00	30	38

Длина кабельных изделий должна измеряться с погрешностью не более 1 %, поскольку погрешность влияет на денежные расчеты. Измерение должно проводиться в процессе производства провода. Для измерения длины применяются автоматические и автоматизированные системы со встроенными счетчиками оборотов. Их инструментальная погрешность должна быть не более 1 % + 1 единица счета [9].

1.3 Электрические параметры качества проводов

Основными электрическими параметрами, характеризующими качество проводов, являются, сопротивление токопроводящих жил ($R_{ж}$), емкость электрического провода (C), сопротивление изоляции ($R_{и}$), индуктивность электрического провода (L).

Для удобства, сопротивление жилы проводов выражается в Ом/м (Ом/км), а сопротивление изоляции в Ом·м (Ом·км).

Электрическое сопротивление изоляции одножильного электрического провода определяется по формуле:

$$R_{из} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{D}{d}, \quad (1.1)$$

где ρ – удельное сопротивление изоляции, Ом·м;

L – длина провода, м;

D, d – диаметры изоляции и жилы соответственно, мм;

Сопротивление токопроводящей жилы определяется по формуле:

$$R_{ж} = \frac{\rho \cdot L}{S}, \quad (1.2)$$

где ρ – удельное сопротивление проводника, (Ом·мм²)/м;

L – длина провода, м;

S – площадь сечения провода, мм².

Одножильный электрический провод с оболочкой представляет собой цилиндрический конденсатор, где одной из обкладок является электропроводящая жила, а другой оболочка [10].

Емкость одножильного электрического провода определяется по формуле, как и емкость цилиндрического конденсатора:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot L}{\ln \left(\frac{D}{d} \right)} \quad (1.3)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость изоляционного материала;

ε_0 – электрическая постоянная, $8,86 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

L – длина провода, м;

D, d – диаметры изоляции и жилы соответственно, мм;

Исходя из формулы 1.3, мы можем утверждать о том, что емкость провода зависит от геометрических параметров и диэлектрической проницаемости изоляционного материала.

Для удобства, принято использовать понятие удельной (погонной) емкости. Погонная (удельная) емкость – емкость, отнесенная к единице длины кабеля или провода. Погонная емкость кабельного изделия измеряется в пФ/м или нФ/км [10].

1.4 Виды кабельно-проводниковых изделий

Кабели, провода и шнуры нашли широкое применение в производстве, в повседневной жизни. Кабели и провода используются для передачи энергии, различного рода электрических сигналов, информации, в радиоэлектронной аппаратуре. Для описания видов кабельно-проводниковых изделий, необходимо дать определения основным понятиям:

Кабель – это система изолированных проводников, скрученных между собой, которые объединены в единую пластмассовую, металлическую или резиновую оболочку. Кабели могут прокладываться в земле и под водой [11].

Провод – это одножильный или многожильный проводник, который может иметь или не иметь изоляцию. Поверх изоляции может накладываться легкая неметаллическая оболочка. Провода не предназначены для прокладки в земле [11].

Шнур – две или более изолированных гибких проводов, скрученных или уложенных параллельно, поверх которой есть защитная оболочка. Шнуры служат для соединения с подвижными устройствами [11].

Провода и кабели удобно классифицировать на неизолированные и изолированные.

Неизолированные провода – провода, не имеющие электрической изоляции. Неизолированные провода по назначению делятся на:

- силовые провода стационарной прокладки на напряжение до 35 кВ;
- силовые провода стационарной прокладки на напряжение 110 кВ и выше;

- силовые провода нестационарной прокладки;
- провода для воздушных линий электропередач.

Изолированные провода – электрический провод, имеющий поверх токопроводящих жил электроизоляцию. Изолированные провода по назначению делятся на:

- провода монтажные высоковольтные;
- провода монтажные низковольтные;
- провода силовые изолированные;
- кабели и провода контрольные;
- кабели и провода управления;
- кабели и провода радиочастотные;
- кабели и провода связи телефонные;
- кабели и провода коаксиальные;
- кабели и провода симметричные;
- специальные кабели и провода.

Материалом для токопроводящих жил используются металлы, с хорошей электропроводностью: медь и алюминий.

Медь – тяжелый металл красного цвета, очень хорошо проводит электрический ток и теплоту. Электрическая проводимость меди в 1,7 раза выше, чем алюминия, в 6 раз выше, чем железа, и лишь немного уступает электрической проводимости серебра.

Алюминий – легкий металл серебристо-белого цвета, вдвое легче меди. Алюминий намного дешевле меди, поэтому он получил широкое применение.

По взаимному расположению проводников, кабельно-проводниковые изделия делятся на симметричные и коаксиальные кабели.

Симметричный кабель (рисунок 1.7) состоит из двух конструктивно одинаковых, скрученных между собой изолированных проводников,

называемых парой. По способу скрутки жил в группы симметричные кабели подразделяются на парные и четверочные.

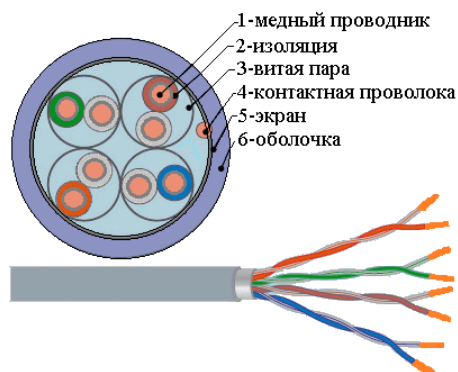


Рисунок 1.7 – Симметричный кабель

Коаксиальный кабель (рисунок 1.8) представляет собой электрический провод цилиндрической формы, разделенной диэлектрическим материалом от внешнего цилиндрического проводника (экран). Экран снаружи покрывается изоляционным материалом из ПВХ или резины.

Коаксиальный кабель состоит из: медного проводника, слоя диэлектрика, экрана в виде оплетки, фольги и оболочки.

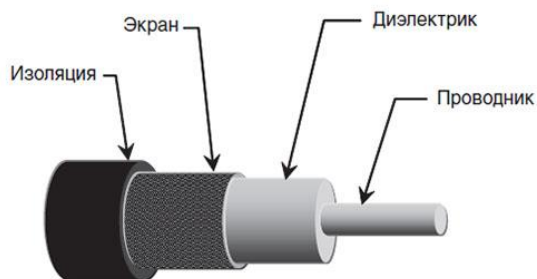


Рисунок 1.8 – Коаксиальный кабель

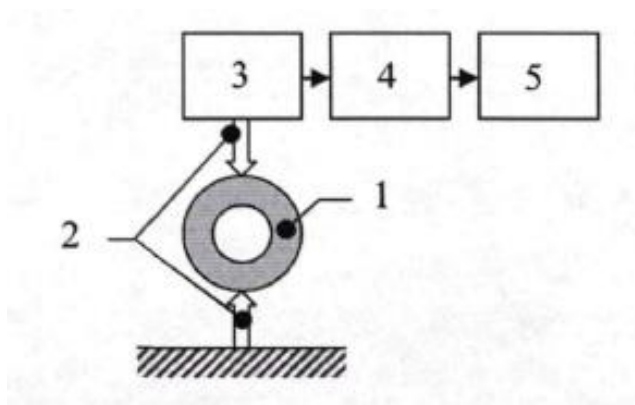
2 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОВОДОВ

2.1 Измерители диаметра провода

Существует множество измерители диаметра проводниковых изделий, которые можно разделить на контактные и бесконтактные. К контактным методам относятся датчики перемещения и микрометры. К бесконтактным методам относятся ультразвуковые, пневматические и оптические приборы. В кабельной промышленности нашли широкое применение оптические измерители диаметра, и основной обзор будет посвящен им.

2.1.1 Контактные методы измерения

Измерители диаметра построены на обыкновенных механических датчиках перемещения и контактных микрометрах. Датчик измерения диаметра работают на основе подвижного щупа, который соприкасается с измеряемым объектом. При увеличении или уменьшении диаметра провода щуп меняет свое положение. Изменение положения фиксируется микрометром или датчиком перемещения. Информация с микрометра или датчика преобразуется и выводится на табло или шкалу. Схема контактного измерителя показана на рисунке 2.1.



1 – измеряемый объект, 2 – чувствительные детали, 3 – преобразователь, 4 – вторичный электронный прибор, 5 – наводящее или фиксирующее устройство.

Рисунок 2.1 – Структурная схема измерителя контактным способом

В основном в качестве преобразователей применяются электрические, оптика – механические, механические и пневматические датчики.

Главным недостатком подобных измерителей можно отметить механический контакт с самим проводом, что является причиной стирания трущихся поверхностей и деформации изолирующего покрытия.

2.1.2 Оптические методы измерения (бесконтактные методы)

Широко применяемый вид бесконтактного измерения диаметра объекта это – оптикоэлектронные приборы, в которых применяются кодированные шкалы оптического вида, интерференционные методы, амплитудная и импульсная модуляция, в основе которых применение точечных излучателей, фотоприемников, микроэлектроники и микроконтроллеров.

В данном разделе приведены четыре основных оптических метода измерения. К ним относятся: метод измерения мощности излучения, сканирующий метод измерения, теневой метод в параллельном пучке, теневой метод в расходящемся пучке. Оптические способы отличаются от остальных методов высокой скоростью измерения, незначительной погрешностью, устойчивостью к помехам. Дают возможность работать бесконтактным путем для получения данных. Однако каждый метод имеет немаловажные различия, создающие ограничения в области применения.

Метод измерения мощности излучения

Данный метод основан на измерении мощности излучения. Измеряемый проводник находится в рабочей зоне между излучателем и воспринимаемым фотоприемником. Как представлено на рисунке 2.2, измеряемый проводник проходит между излучателем и приёмником (рабочая зона). Параллельный световой луч проходит через рабочую зону. Провод, в зависимости от диаметра, частично перекрывает световой луч и убавляет силу излучения. В фотоприемник поступает измененный поток излучения. Затем полученный измененный поток мощности излучения пересчитывается в диаметр измеряемого объекта [12].

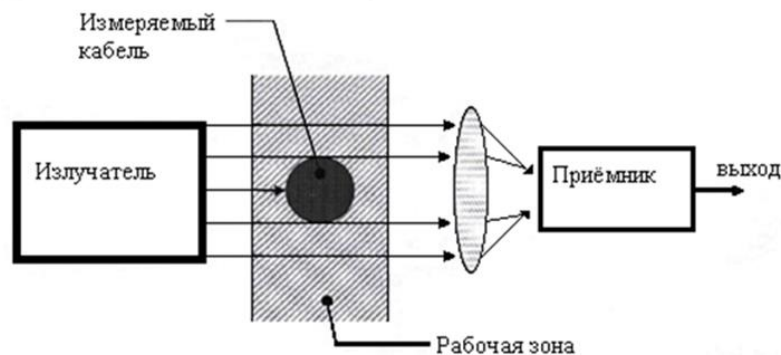


Рисунок 2.2 – Схема измерения мощности

Основную погрешность измерения вносит источник стабильного излучения и фотоприёмник. Со временем мощности излучения излучателя падает, а чувствительность фотоприемника становится меньше.

Сканирующий метод измерения

В данном методе измеряется длительность импульса фотоприемника. С помощью лазера и равномерно вращающегося шестигранного зеркала создается тонкий луч. Луч вращается с постоянной скоростью V в зоне измерения шириной W . Луч, пересекая измеряемый провод, прерывается. На фотоприемники принимающим излучение, появляется импульс длиной t . Длительность импульса равна времени t движения луча в поперечном сечении кабеля. Измеряя длительность импульса, мы можем определить диаметр провода D по формуле 2.1 [12].

Оптическая схема сканирующего метода показана на рисунке 2.3

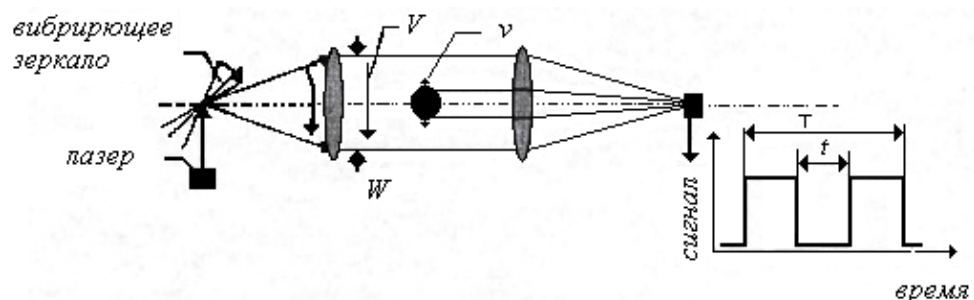


Рисунок 2.3 – Схема сканирующего метода

$$D = \frac{t}{T} \cdot W \quad (2.1)$$

где D – диаметр провода;

T – период сканирования рабочей зоны;

t – длительность импульса.

Расчеты в данном соотношении будут правильны только при условии, что v будет равен нулю, потому что время t зависит от скорости передвигаемого измеряемого изделия v .

$$t = \frac{D}{V - v}, \text{ при } v=0 \text{ то } t = \frac{D}{V} \quad (2.2)$$

Есть вероятность возрастания погрешности при сильных вибрациях, по этой причине важно дополнительная стабилизация проволоки.

Преимуществами этих приборов является широкий диапазон измерения, высокая скорость сканирования и низкая погрешность.

Большой недостаток этих приборов — это их стоимость, так как детали этих приборов нуждаются в высококачественных материалах.

Теневой метод в параллельном пучке измерения

На сегодняшний день это самый распространённый метод измерения диаметра. Его оптическая схема показана на рисунке 2.4. Светодиод (точечный излучатель) с помощью коллиматора создает в рабочей зоне, параллельный пучок света. Через рабочую зону горизонтально движется провод. Провод, проходя через параллельный пучок света, отбрасывает тень, которая падает на многоэлементный фотоприемник. Ячейки фотоприёмника находятся вертикально по линии [12]. Для нахождения диаметра провода D , надо количество затемненных ячеек фотоприемника n , умножить на длину одной ячейки l по формуле:

$$D = n \cdot l \quad (2.3)$$

Линейки фотоприёмников имеют размер ячейки l в диапазоне от 1,5 до 60 микрометров (мкм) [12]. Точность измерения таких фотоприёмников очень высокая. Источником излучения в данном методе являются лампы накаливания, полупроводниковый лазерный модуль или светоизлучающий диод. Но предпочтение отдается лазерному модулю. Но предпочтение отдается лазерному модулю, так как она приближена к точечному источнику излучения.

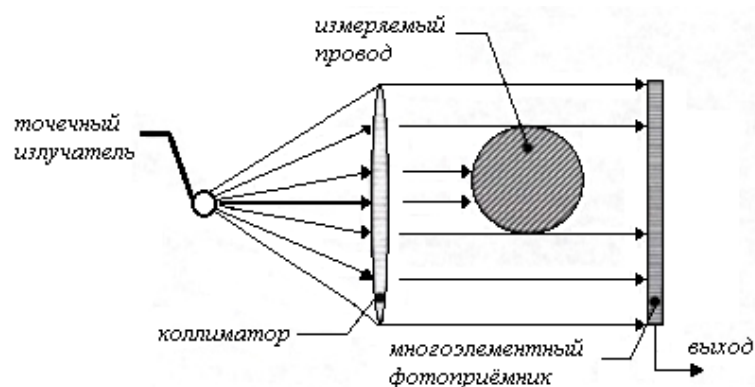


Рисунок 2.4 – Теневой метод измерения диаметра

Коллиматор преобразует луч в параллельный пучок от точечного источника света. Небезупречная система оптического коллиматора дает главную погрешность рассматриваемого метода. Свет отличается от параллельного, что приводит к неточности измерения в рабочей зоне. Ширина апертуры коллиматора зависит от зоны измерения, а увеличение самой апертуры, даже несмотря на используемую линейку фотоприемника с малым размером, умножает ошибки на результат измерения.

Данный метод используется при измерении в диапазоне от 1 до 35 мм. В современных однокоординатных, двухкоординатных и трехкоординатных оптических приборах применяется данный метод. Этот метод наиболее надежен и выгоден от предыдущих вариантов и отличается отсутствием различных подвижных механических элементов.

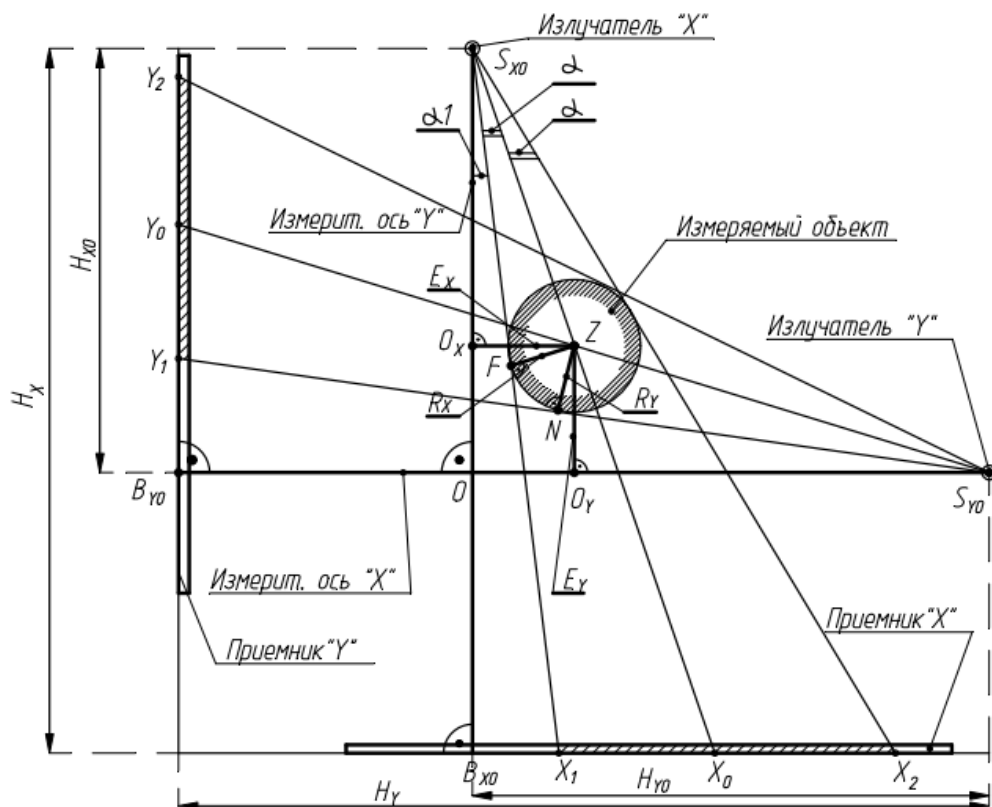
Теневой метод в расходящемся пучке

Принцип работы схож с методом измерения в параллельном пучке света. Отличие в том, что здесь нету коллиматора, который преобразует точечный источник света в параллельный. На рисунке 2.5 показана оптическая схема измерителя.

В данном измерителе применяется два источника точечного света, которые светят расходящимся пучком света на фотоприёмную линейку. Точечный свет создается полупроводниковыми лазерами.

При перемещении провода в зоне измерения, размер его тени меняется. Перемещения тени провода можно отследить, если перпендикулярно одному измерительному каналу поставить другой идентичный первому. В методе

применяются два измерительных канала, оси, которых X и Y взаимно перпендикулярны. У каждого канала свой точечный излучатель и фотоприемник. Точечный излучатель создает расходящийся световой поток. Фотоприемники « X » и « Y » фиксируют границы и измеряют тени провода. Микроконтроллер рассчитывает координаты этих границ в плоскостях приемников [13].



B_{x0} и B_{y0} являются началом координат, «нулевые» ячейки приемников.

N_x и N_y расстояния от центра излучателя до приемника по прямой.

H_{x0} и H_{y0} расстояние от центра излучателя до центра рабочей зоны.

Рисунок 2.5 – Теневой метод в расходящемся пучке. Двухкоординатная система

Изученные приборы делятся по числу осей измерения на однокоординатные, двухкоординатные и трехкоординатные. Приборы измерения диаметра ставят после охлаждающей ванны.

Основными производителями измерителей диаметра являются зарубежные фирмы «Sikora», «Proton Products Group», «Zumbach». В России производителями измерителей диаметра являются фирмы «Электонт» и НПО «РЕДВИЛЛ» [15, 16, 17, 18, 19].

В таблице 2.1 приведены краткие характеристики приборов измерения диаметра.

Таблица 2.1 – Приборы измерения диаметра [15, 16, 17, 18, 19]

Фирма	Тип	Диапазон измеряемого диаметра (мм)	Погрешность измерения (мкм)
«Sikora»	По 2 осям	LASER 2010 XY (0,2 – 10)	$\pm 0,5$
		LASER 2050 XY (0,5 – 50)	$\pm 2,5$
	По 3 осям	LASER 2025 T (0,2 – 25)	± 1
		LASER 2100 T (1 – 100)	± 5
«Proton Products Group»	По 1 оси	DG1030 (0,1 – 27)	± 1
	По 2 осям	DG2060 (0,2 – 57)	$\pm 1,5$
	По 3 осям	DG3060-10k (0,3 – 60)	± 3
«Zumbach»	По 1 оси	16J (0,05 – 16)	$\pm 0,5$
	По 2 осям	76XY-J (0,2 – 2×78)	± 3
«Электонт»	По 1 оси	ИД-30П (0,3 – 36)	$\pm 3,5 - 10$
	По 2 осям	ИД2-25 (0,3 – 22)	$\pm 3,5 - 10$
		ИД2-50 (0,8 – 50)	$\pm 10 - 20$
«РЕДВИЛЛ»	По 2 осям	LDM-20 (0,5 – 20)	± 5
		LDM-50 (0,5 – 50)	± 10
		Цикада 2.72 (0,5 – 2×18)	± 10
		Цикада 3.72 (1 – 2×60)	± 20
		Цикада 2.7 (0,5 – 20)	± 15

2.2 Измерители толщины изоляции

Контроль толщины изоляции кабельно-проводникового изделия уменьшает расход материалов на нанесение изоляции. Уменьшение расхода материалов, увеличивает объем производимой продукции.

На сегодняшний день существует три метода контроля и измерения толщины изоляции: Это емкостный, оптический и ультразвуковой метод.

2.2.1 Емкостной (контактный) метод измерения толщины.

Автоматические емкостные измерители откликаются на отклонение емкости при контроле толщины изоляционного материала в проводах, толщины изоляционной оболочки и центра токоведущей жилы.

Емкостный преобразователь измерителя толщины изоляции схематично показан на рисунке 2.6. Как видно на изображении проводник состоит из

изоляционного покрытия 2 и токопроводящей жилы 1. С двух сторон, в противоположных точках поперечного сечения, к проводу соприкасаются электроды 3 и 4.

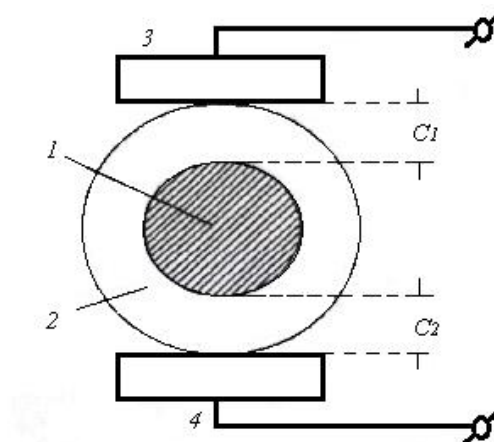


Рисунок 2.6 – Емкостный преобразователь

Тут пластины, при токопроводящей жиле, образуют конденсаторы. При изменении толщины изоляции, меняется емкость датчиков. Изменение регистрируется при помощи электронных схем: мостовых, дифференциальных, частотных, амплитудных и т.д. Самые надежные и простые приборы основаны на дифференциальном и мостовом методах контроля.

Недостатками этих приборов является:

- невысокая точность измерения, которая сильно заметна при измерении малых толщин изоляции;
- необходимость подачи на контролируемую жилу токи высокой частоты;
- зависимость значения измерений от присутствия на поверхности измеряемого проводника остатков масла, влаги и других веществ.

2.2.2 Ультразвуковой метод измерения толщины

Ультразвуковым способом можно измерять не только внешний диаметр проводниковой продукции, но и также толщину изоляции и эксцентricность. Принцип работы заключается в том, что процессор посылает импульс пьезоэлектрическому датчику (рисунок 2.7). Датчик изучает звуковые волны. Когда эти звуковые волны переходят из одной области в другую, например, из

воды в полимер, к пьезоэлектрическому преобразователю поступает часть энергии этих волн. При этом волны отражаются как от наружного, так и от внутреннего слоя [14]. В результате на приемный датчик поступает две отраженные волны – эхо 1 и эхо 2. Следовательно, толщину изоляции δ рассчитывается по формуле 2.4.

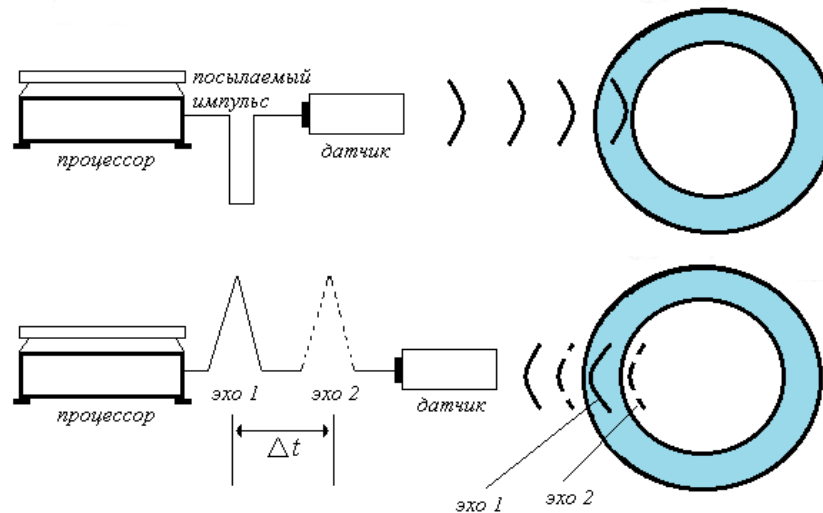


Рисунок 2.7 – Измерение толщины изоляции с помощью ультразвука

$$\delta = \frac{v \cdot \Delta t}{2} \quad (2.4)$$

где δ – толщина изоляции;

v – скорость распространения звука в материале;

Δt – время между эхами.

Недостатком этих приборов, является то, что измерение можно проводить только в воде. Также необходимо калибровать прибор, при переходе на новый тип материала изоляции. Ультразвуковые приборы дороже, чем оптические или емкостные приборы.

2.2.3 Оптический метод измерения толщины

Измерение толщины изоляции оптическим методом, основаны на измерение разности диаметра. Первая измерительная головка устанавливается перед экструдером и измеряет диаметр жилы провода (D_1), вторая головка устанавливается после экструдера и измеряет уже диаметр провода с изоляцией (D_2) (рисунок 2.8) [17].

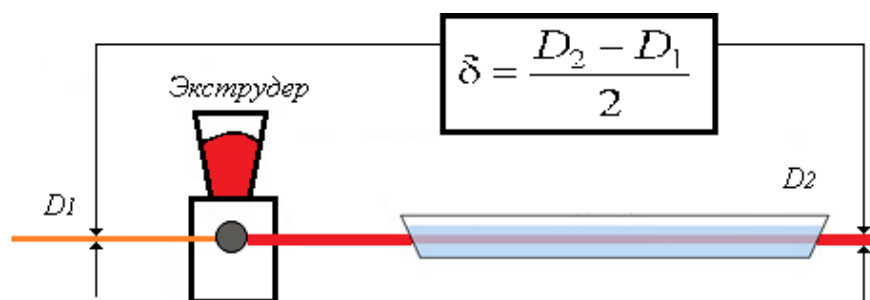


Рисунок 2.8 – Измерение толщины оптическим методом

Средняя толщина изоляции δ равна:

$$\delta = \frac{D_2 - D_1}{2} \quad (2.5)$$

В таблице 2.2 приведены краткие характеристики приборов измерения толщины изоляции.

Таблица 2.2 – Приборы измерения толщины изоляции [15, 18]

Фирма	Наименование модели	Измеряемые диаметры (мм)	Точность измерения (мкм)
«Zumbach»	UMAC R40	1,5–40	±1
	UMAC A10	1–10	±1
«Sikora»	CENTERVIEW 8025	0,5–25	±1
«Эрмис+»	АИСТ-2.2	1–20	±50

2.3 Измерители эксцентриситета

Эксцентриситет приводит к уменьшению толщины изоляции на отдельных участках провода. Уменьшение эксцентриситета приводит к снижению электрической прочности провода. Существуют два метода измерения эксцентриситета: контактные и бесконтактные.

В контактных измерениях используется вихретоковый метод, а в бесконтактных рентгеновский и индуктивно-оптический метод.

2.3.1 Вихретоковый метод измерения эксцентриситета

Принцип работы вихретокового способа основан на применении резонансных вихретоковых датчиков, которые определяют расстояние от изоляционного покрытия до токоведущей жилы. Датчики устанавливаются в паре (1-3, 2-4), по разные стороны от проверяемого кабеля и прижимаются к поверхности изоляции (рисунок 2.9). Когда центр жилы совпадает с центром

провода, то показания датчиков одинаковы и разность равна нулю. В случае смещения центров, разность сигналов, исходящих от датчиков, будет равна отклонению эксцентриситета жилы от центра контрольной системы. Ось измерения в итоге зависит от разности сигналов [14].

Для определения направления смещения жилы применяются две пары индуктивных датчиков. Измерительные оси каждой пары: ось 1–3 и ось 2–4 расположены под углом 90° друг к другу (рисунок 2.10). Полная величина эксцентриситета рассчитывается как векторная сумма значений, измеренная по осям 1–3 и 2–4.

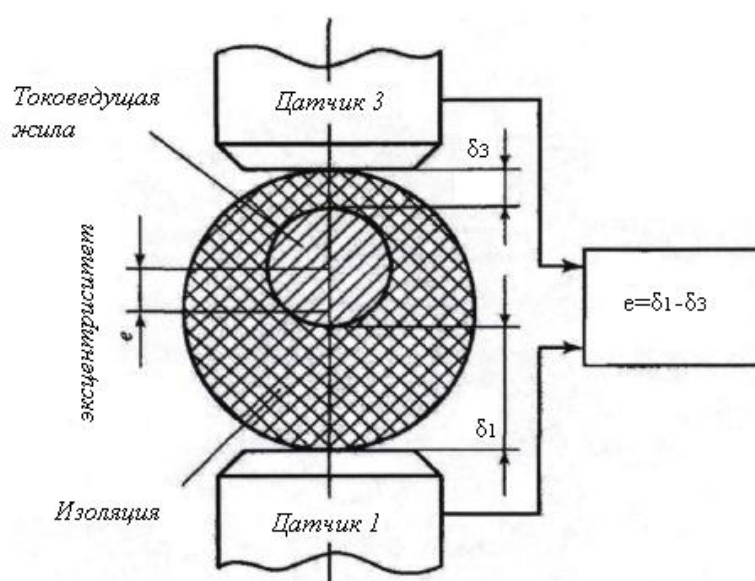


Рисунок 2.9 – Схема вихретокового метода измерения эксцентриситета

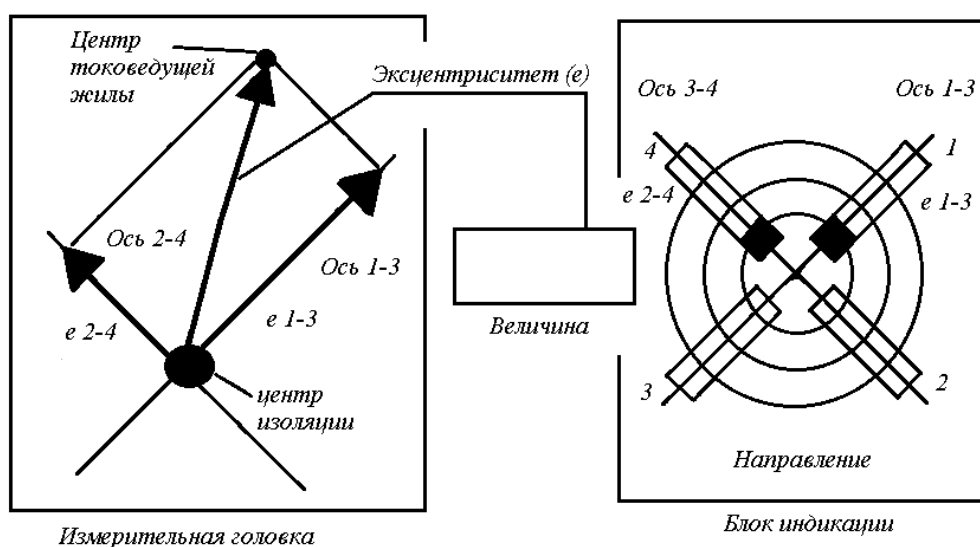


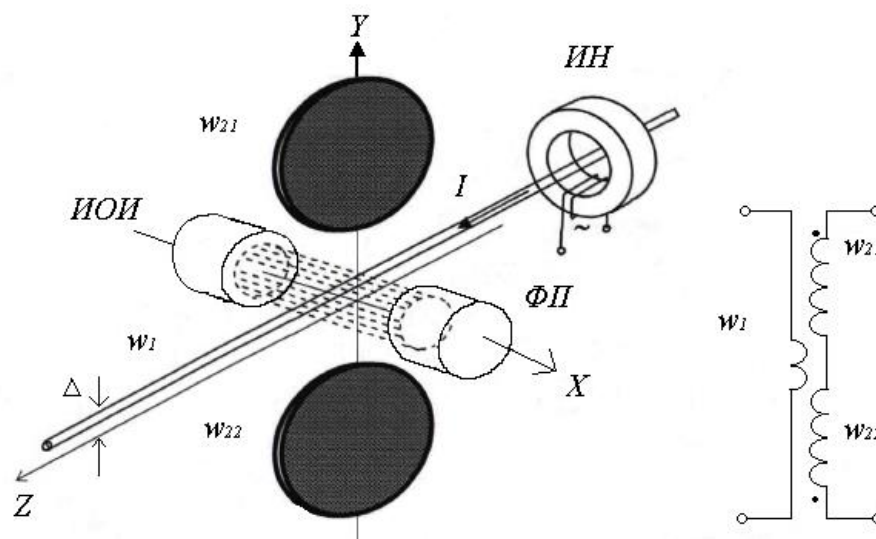
Рисунок 2.10 – Расположение датчиков в измерительной оси

Вихретоковую измерительную систему можно применять на экструзионных машинах после охлаждающих ванн, где изоляция выходит с необходимой жесткостью. К тому же при применении данного аппарата после охлаждения водой должна соблюдаться хорошая осушка проводника, потому, что остаточная влага на поверхности влияет на точность показаний контроля качества.

2.3.2 Индуктивно-оптический метод измерения эксцентриситета

Суть индуктивно-оптического измерения основана на определении разности положения оптического центра провода и центра жилы. Оптический центр провода находится при помощи двухкоординатной оптической системой. Центр токоведущей жилы определяется индуктивными датчиками.

Провод проходит через кольцо магнитопровода, по обмотке, которой протекает переменный ток. В жиле провода индуцируется переменный электрический ток, который создает вокруг провода переменное магнитное поле. Магнитное поле провода наводит эдс в секциях измерительных обмоток. Суммарные эдс измерительных обмоток каждой из систем преобразователей функционально связаны со значениями поперечных смещений проводника [14]. В результате, получаем информацию о положении центра токоведущей жилы. Эксцентриситет вычисляются как разность смещения центра токоведущей жилы относительно оптического центра провода. На рисунке 2.11 изображена конструкция применяемого метода индуктивно-оптического контрольного преобразователя.



w_1 – токоведущая жила (обмотка возбуждения), w_{21} , w_{22} – измерительные секции, ИОИ – источник оптического излучения, ИН – индуктор, ФП – фотоприемник.

Рисунок 2.11 – Индуктивно-оптический измерительный преобразователь

В таблице 2.3 приведены краткие характеристики приборов измерения эксцентриситета.

Таблица 2.3 – Приборы измерения эксцентриситета [15, 18]

Фирма	Наименование и метод измерения	Наружный диаметр (мм)	Диапазон измерения эксцентриситета (мм)	Точность измерения (мкм)
«Zumbach»	METREX A4 вихретоковый	0,3–10	0–1	–
	RAYEX 160 рентгеновский	110	–	–
«Sikora»	X-RAY 2000 Рентгеновский	120	–	±20
	CENTERVIEW 2025 Индуктивно-оптический	0,5–25	0–1	±5
«Эрмис+»	ВЕКТОР-2.41 вихретоковый	0,5–10	0–1	±50
	ВЕКТОР-2.5 Индуктивно-оптический	0,5–10	0–1	±50

2.4 Контроль электрической прочности изоляции

Электрическая прочность изоляции контролируется с помощью приложения повышенного напряжения к изоляции провода при заземленной токоведущей жиле. При попадании дефектного участка изоляции провода в

зону контроля, происходит пробой изоляции. Пробой фиксируется электроискровым дефектоскопом. Качественная изоляция при попадании в зону контроля не повреждается [12].

В технологической линии применяют контроль по категории ЭИ–2, то есть «на проход». Величина испытательного напряжения устанавливается в соответствии с ГОСТ 23286–78 [5].

Приборы контроля по категории ЭИ–2 принято называть аппаратами сухих испытаний (АСИ).

Для проверки изоляции на пробой подают постоянное, импульсное, синусоидальное напряжение промышленной частоты (50-60 Гц) и синусоидальное напряжение звуковой частоты (100-1000 Гц).

Высоковольтные испытательные приборы можно разделить на: приборы с напряжением промышленной частоты (ПЧ), приборы с напряжением звуковой частоты (ЗАСИ), приборы с импульсным напряжением (ИАСИ).

Приборы (ПЧ) используются на технологических линиях со средними скоростями движения провода, не больше 500 м/мин. Преимуществами этих приборов являются низкие токи через изоляцию, малая мощность потребления, высокая амплитуда напряжения. Недостатками этих приборов являются их габаритные размеры и масса [20].

Приборы (ЗАСИ) используются на технологических линиях с высокими скоростями движения провода, до 3000 м/мин. Достоинством этих приборов является высокая скорость контроля и малые габаритные размеры. Недостатком этих приборов является большой емкостной ток через контролируемую изоляцию, что ставит ограничения на испытательное напряжение [20].

Приборы (ИАСИ) используются на технологических линиях с низкими скоростями движения провода, до 200 м/мин. Достоинством этих приборов является высокое испытательное напряжение, способность контроля изоляции с высокими диэлектрическими потерями. Сопротивление таких материалов изоляции не превышает 5 МОм. Недостатками этих приборов является низкая скорость контроля [20].

В таблице 2.4 приведены основные характеристики типов высоковольтных испытателей. В таблице 2.5 рассмотрены приборы высоковольтных испытаний.

Таблица 2.4 – Типы высоковольтных испытателей

Тип	Напряжение, кВ	Рабочая частота, кГц	Емкость нагрузки, пФ	Сопротивление нагрузки, МОм	Потребляемая мощность, Вт
ПЧ	1–50	0,05	300	5	50–100
ЗАСИ	1–30	1–6	300	20	100–200
ИАСИ	6–50	0,05–0,1	300	3	50–100

Таблица 2.5 – Характеристики приборов высоковольтных испытаний

Наименование прибора	Форма и частота напряжения, Гц	Диапазон испытательного напряжения, кВ	Допустимый диаметр провода, мм	Допустимая скорость движения, м/мин
ASTL «Zumbach»	50/60	15 / 25	50	240
DST «Zumbach»	Постоянное	10 / 25	12	3000
HP 300-CENE «Sikora»	Импульсное 300	1,5–25	0,2–40	–
HP 300-UL «Sikora»	Синусоида 2000	0,5–15	а) 0,1–10 б) 0,5–30	–
Корона-1 Эрмис+	Синусоида 0.8–2000	1,5–15	15	3000
Корона – 2И Эрмис+	Разнополярные Импульсы, 50	6–30	50	70
Корона-ПЧ Эрмис+	Синусоида 50	3–30	30	200

2.5 Измерители длины

Измерители длины кабельных изделий, в зависимости от вида преобразователя можно разделить на контактные и бесконтактные. К контактному методу измерения относятся электромеханические измерители. К бесконтактному методу относятся фото импульсные, приборы с магнитными метками и приборы, основанные на эффекте Доплера.

2.5.1 Электромеханические измерители длины

Эти приборы работают следующим образом. Через измерительный ролик 1, свободно вращаемый на оси, постоянно движется провод 2. Провод прижимается к измерительному ролику прижимным роликом 5. Вращение измерительного ролика регистрируют два индуктивных датчика 3 и 4. Индуктивные датчики жестко связаны с измерительным роликом, которые выдают заданное количество импульсов за один оборот ролика. Цена импульса определяется по формуле 2.6. На рисунке 2.12 показана конструкция электромеханического измерителя длины.

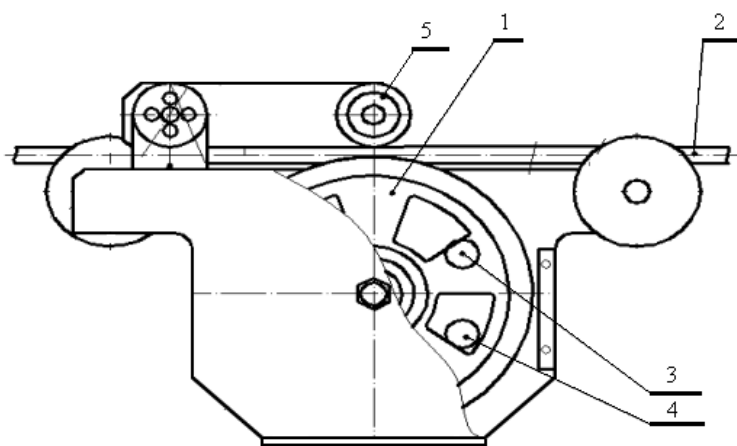


Рисунок 2.12 – Электромеханический измеритель длины

$$k = \frac{\pi \cdot D}{n \cdot \mu} \quad (2.6)$$

где k – цена импульса;

D – диаметр ролика;

n – Число импульсов на один оборот импульсатора;

μ – передаточное отношение между роликом и импульсатором.

Подсчитав число импульсов m , можно определить длину изделия L :

$$L = k \cdot m \quad (2.7)$$

где k – цена импульса;

m – число импульсов.

В качестве импульсных датчиков используются индуктивные, электромагнитные, фотоэлектрические устройства. Достоинством электромеханических измерителей длины является их простота и дешевизна.

формирование сигналов для функционирования головок и преобразование сигналов [12].

Провод движется по линии с некоторым зазором относительно стирающей, записывающей и считывающей головок. Стирающей головкой, формируется убывающее по амплитуде переменное магнитное поле. Этим полем осуществляется предварительное размагничивание движущегося провода. Записывающей головкой, осуществляется нанесение на провод магнитных меток. Считывающей головкой, осуществляется считывание нанесенных меток.

Длина провода рассчитывается путем умножения числа посчитанных меток на базовое расстояние по формуле:

$$L_x = l \cdot N \quad (2.8)$$

где L_x – длина провода;

l – базовая длина;

N – число импульсов.

Скорость изделия рассчитывается путем умножения частоты импульсов на базовое расстояние по формуле:

$$V_x = l \cdot f_x \quad (2.9)$$

где V_x – скорость изделия;

f_x – частота поступающих импульсов N .

2.5.3 Метод лазерных Доплеровских измерителей скорости и длины (ЛДИСД)

Принцип работы состоит в следующем. Точечный свет разделяется светоделительной призмой на два лазерных луча. Два лазерных луча на поверхности провода создают интерференционную картину с периодом d . На рисунке 2.14 показана конструкция ЛДИСД. Чередующиеся светлые и темные полосы модулируют отраженный свет с частотой, пропорциональной скорости движения. Отраженный свет улавливается фотодиодом, электрический сигнал

обрабатывается процессором для определения частоты и, следовательно, скорости.

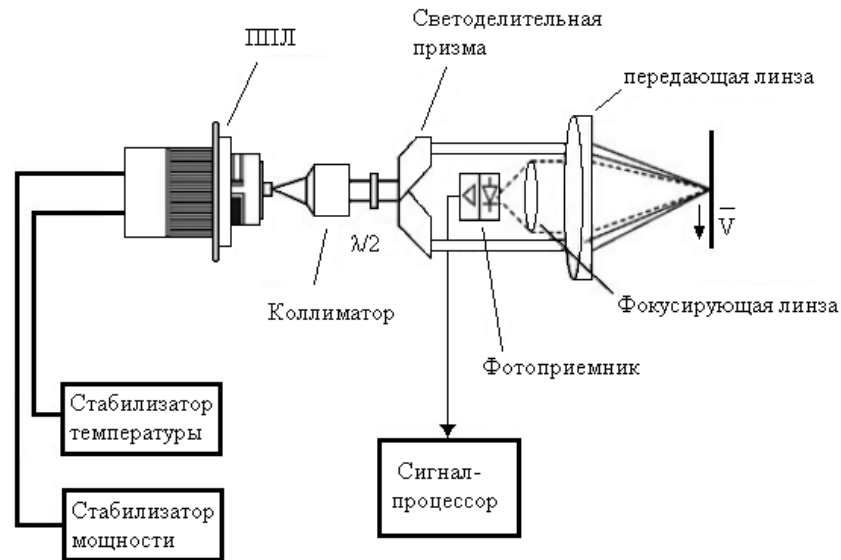


Рисунок 2.14 – Схема ЛДИСД

Частота, скорость и длина рассчитываются по формулам:

$$f = \frac{V}{d} = \frac{2 \cdot V \cdot \sin\left(\frac{Q}{2}\right)}{\lambda} \quad (2.10)$$

$$V = \frac{f \cdot \lambda}{\sin\left(\frac{Q}{2}\right)} = K_{\text{гр}} \cdot f \quad (2.11)$$

$$L = \int_0^t V(t) \cdot dt \quad (2.12)$$

где f – выходная частота лазерного датчика;

V – скорость провода;

Q – угол между лазерными лучами;

d – период интерференционной картины;

λ – длина волны лазера;

$K_{\text{гр}}$ – градуировочный коэффициент прибора;

L – длина провода;

t – время измерения.

В таблице 2.6 приведены характеристики приборов измерения длины кабельных изделий.

Таблица 2.6 – Приборы измерения длины кабельных изделий [16, 17, 19]

Фирма	Наименование прибора	Диаметр провода (мм)	Допустимая Скорость м/мин	Точность измерения %
«Электонт»	Метраж–20	1,5–20	600	$\pm 0,2$
	Метраж–100	5–100	300	$\pm 0,2$
«Proton Products»	Intelsens SL1525	1–25	2500	$\pm 0,05$
	Intelsens SLR6060	1–60	5000	$\pm 0,05$
«Эрмис+»	Дельта–1.4	0,5–6	600	$\pm 0,2$
	Дельта–2.4	4–30	600	$\pm 0,2$
	Дельта–3.4	6–90	600	$\pm 0,2$
НПО «РЕДВИЖЛ»	Ид-25	1–25	700	$\pm 0,3$

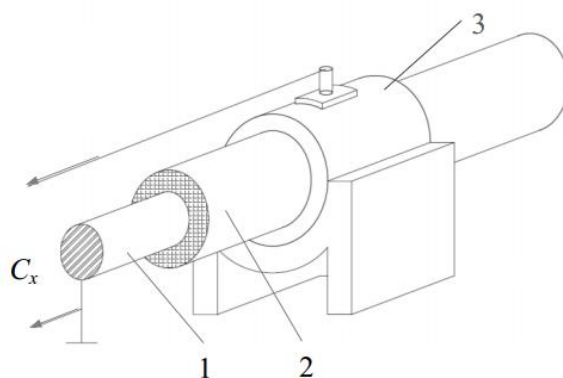
2.6 Измерители емкости кабельных изделий

Для качественного контроля и измерения емкости провода при производстве, измерители необходимо ставить сразу же на выходе экструдера. В этой стадии производства у провода нет второго электрода, поэтому для измерения емкости у провода необходимо сформировать второй электрод.

Вариант формирования второго электрода цилиндрического конденсатора определяет конструкцию измерительного преобразователя. По конструкции измерительных преобразователей, измерители емкости можно разделить на контактные, бесконтактные и жидкостные [10].

2.6.1 Контактные измерители емкости

Второй электрод можно сформировать в виде полого цилиндра (рисунок 2.15), таким образом происходит полный обхват провода по всей окружности. Диаметр цилиндра, проводящего ток, равен наружному диаметру изоляции провода, то есть нет зазора между проводом и измерительным электродом [10].



1 – жила провода, 2 – изоляция провода, 3 – электрод в виде полого цилиндра

Рисунок 2.15 – Измерительный преобразователь в виде полого цилиндра

Недостатком этого метода является, то что они должны плотно соприкасаться с изоляцией провода, так как это влияет на точность измерения. А изоляция провода на выходе из экструдера мягкая, еще не успела остыть. Поэтому даже незначительное давление или соприкосновение возможна деформация, что приводит к дефекту.

2.6.2 бесконтактные измерители емкости

В бесконтактных измерителях измеритель формируется в виде цилиндрического трубчатого электрода (рисунок 2.15), но большего диаметра, чем диаметр изолированного провода. При такой конструкции провод с мягкой изоляцией свободно перемещается внутри измерительного электрода. При поперечном разрезе, провод и электрод представляют собой цилиндрический конденсатор с двухслойной изоляцией – воздухом и изоляцией провода (рисунок 2.16).

Емкость в таком случае определяется по формуле:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_{из} \cdot \epsilon_0 \cdot l}{\epsilon_{из} \cdot \ln\left(\frac{D_э}{D}\right) + \ln\left(\frac{D}{d}\right)} \quad (2.13)$$

где $\epsilon_{из}$ – диэлектрическая проницаемость изоляции;

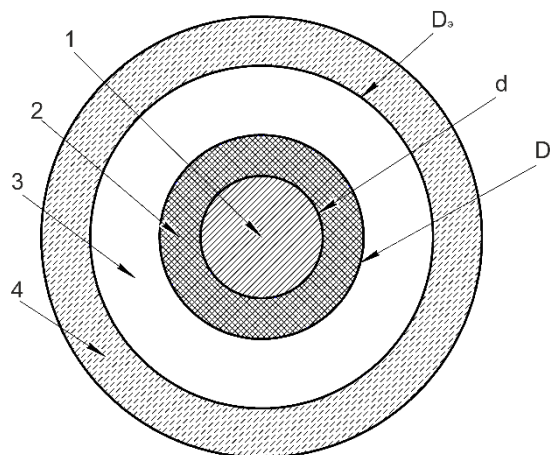
ϵ_0 – электрическая постоянная, $8,86 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

l – длина зоны контроля, м;

$D_э$ – внутренний диаметр электрода, мм;

D – диаметр изоляции, мм;

d – диаметр жилы, мм.



1 – жила провода, 2 – изоляция провода, 3 – воздушный промежуток, 4 – трубчатый электрод

Рисунок 2.16 – Провод и измеритель в разрезе

Недостатком этих измерителей является, то что, во время движения провода, центр провода смещается относительно оси измерительного электрода. Такие колебания провода в измерительном электроде приводят к погрешности.

2.6.3 Измерители емкости с применением жидкостного электрода

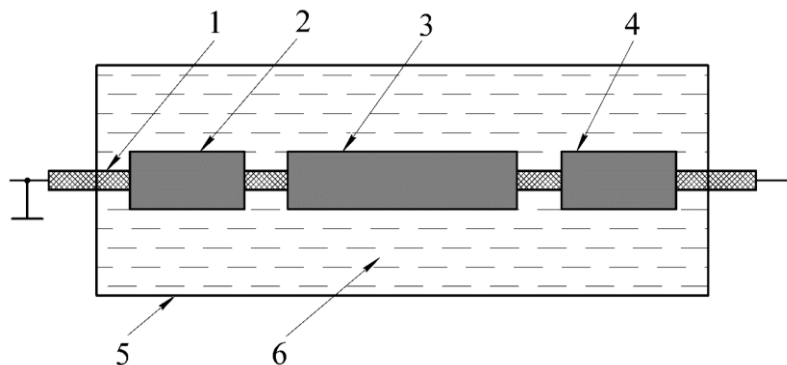
В жидкостных измерителях в качестве электрода, соприкасающегося с наружной поверхностью изоляции провода и внутренней поверхностью электрода, используется токопроводящая жидкость. В качестве электропроводящей жидкости используется водопроводная вода. Вода является электролитом, так как в ней содержатся соли и минералы. Так же вода используется в технологической линии для охлаждения провода после процесса экструзии.

В технологической линии охлаждающая ванна, заполненная водой, располагается после экструдера. Провод, после процесса экструзии, проходит через охлаждающую ванну, что обеспечивает своевременное охлаждение.

Измерительный преобразователь в виде трубочатого электрода погружен в охлаждающую ванну. Вода заполняет внутреннее пространство трубочатого

электрода (рисунок 2.17). Вода нужна, чтобы был электрический контакт между изоляции провода и внутренней стенкой электрода.

Для своевременного контроля и измерения погонной емкости, провод проходит через измерительный преобразователь.



1 – контролируемый провод, 2, 4 – дополнительные электроды, 3 – измерительный электрод,
5 – охлаждающая ванна, 6 – вода

Рисунок 2.17 – измерительный преобразователь в виде трубчатого электрода

Контролируемый провод 1 постоянно движется внутри измерительного преобразователя. Измерительный преобразователь состоит из измерительного электрода 3 и двух дополнительных электродов 2 и 4, предназначенных для устранения растекания поля на краях измерительного преобразователя. Измерительный преобразователь погружен в охлаждающую ванну 5, в которой находится вода 6 [10].

В таблице 2.7 рассмотрены характеристики приборов измерения контроля емкости кабельных изделий.

Таблица 2.7 – Приборы контроля измерения емкости проводов

Фирма	Наименование прибора	Измеряемые диаметры (мм)	Диапазон емкости (пФ/м)	Точность (пФ/м)
«Sikora»	CAPACITANCE 2010	0,5–10	0–300	±0,45
	CAPACITANCE 2025	1–25	0–300	±0,45
«Proton Products»	CG1010	0,5–10	0–500	±1
	CG1060	1–60	0–500	±1
«Эрмис+»	ВОЛНА-1.1	1–10	0–500	±0,5
«РЕДВИЛЛ»	«CAP-15»	0,5–15	0–500	±1,25

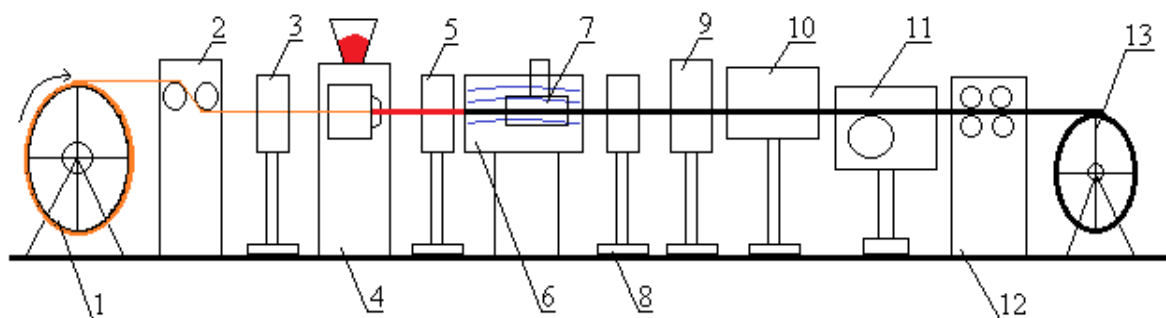
3 СОЗДАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОВОДА. ВЫБОР ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ.

3.1 Создание имитационной модели технологической линии

Имитационная модель процесса технологического контроля параметров провода подразумевает упрощенное воспроизведение технологической линии. В технологической линии провод непрерывно движется от стадии волочения до стадии бухтовки. В процессе движения провода, вдоль технологической линии, ставят приборы контроля и измерения параметров. На рисунке 3.1 можно увидеть структурную схему расположение приборов в реальной технологической линии. Приборы контроля идут последовательно. Так же в зависимости от требования к контролю качества провода, некоторые приборы могут не устанавливаться.

Технологическая линия начинается с отдающего устройства 1, которое вращается за счет электрического двигателя. В процессе движения проволоки может колебаться вверх-вниз, влево-вправо, чтобы уменьшить эти колебания ставят выравнивающее устройство 2. Тяговое устройство 12 постоянно поддерживает натяжение проволоки. После выравнивающего устройства ставят измеритель диаметра жилы 3 и измеритель диаметра нанесенной изоляции 5. Два измерителя диаметра находятся до и после экструдера 4. Это необходимо для нахождения значения толщины изоляции. Толщина изоляции определяется как разность значений диаметра жилы и диаметра нанесенной изоляции. Нанесенная изоляция остывает в охлаждающей ванне 6, где располагается измеритель емкости 7. По значению емкости можно судить о дефектах на проводе. Для измерения диаметра провода после усадки изоляции, стоит измеритель диаметра 8. Эксцентриситет жилы относительно изоляции определяет измеритель 9. Для окончательной проверки изоляции, провод проходит электроискровой дефектоскоп 10. В целях безопасности, электроискровой дефектоскоп располагается подальше от охлаждающей ванны.

Измеритель длины провода 11 считает длину бухты, намотанной на принимающее устройство 13.



1–отдающее устройство; 2–выравнивающее устройство; 3–измеритель диаметра жилы; 4–экструдер; 5–измеритель диаметра изоляции; 6–охлаждающая ванна; 7–измеритель емкости; 8–измеритель диаметра провода; 9–измеритель эксцентриситета; 10–электроискровой дефектоскоп; 11–измеритель длины и скорости; 12–тяговое устройство; 13–принимающее устройство.

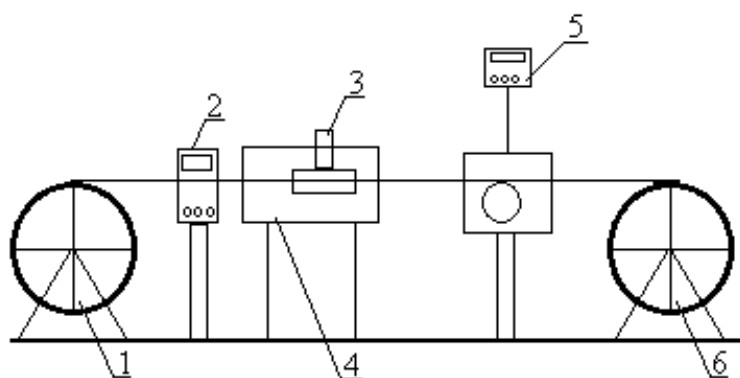
Рисунок 3.1 – Расположение приборов контроля на реальной технологической линии

На основе реальной технологической линии контроля соберем в лабораторных условиях упрощенную имитационную модель технологической линии контроля параметров электрического провода. Имитационная модель технологической линии должна позволять контролировать диаметр провода, погонную емкость, длину и скорость движения провода.

В имитационной модели технологической линии применяются измеритель диаметра, измеритель погонной емкости, измеритель длины и скорости провода.

В имитационной модели достаточно установить один измеритель диаметра, с помощью которого можно измерять диаметр жилы и изоляции.

На рисунке 3.2 можно увидеть структурную схему расположения приборов контроля в имитационной модели технологической линии.



1—отдающий барабан; 2—измеритель диаметра; 3—измеритель емкости; 4—охлаждающая ванна; 5—измеритель длины и скорости; 7—принимающий барабан.

Рисунок 3.2 – Структурная схема расположения приборов контроля в имитационной модели технологической линии

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

В магистерской диссертации проводится обзор технологического процесса изготовления кабельных изделий, анализ существующих приборов контроля и измерения геометрических и электрических параметров проводов. В научной работе рассматриваются вопросы контроля и измерения геометрических и электрических параметров качества кабельно-проводниковых изделий.

Целью данной научно-исследовательской работы является исследование основных параметров электрического провода, подлежащих контролю в технологическом процессе, и выявлению наиболее перспективных методов контроля.

В данном разделе магистерской диссертации проведена оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта, поставлены цели и результаты проекта, разработана организационная структура проекта, разработан план проекта, бюджет научного исследования.

Целью данного раздела является определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности и успешности научно-исследовательской работы, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевым рынком данной научно–исследовательской работы является промышленные предприятия, занимающиеся производством кабельно-проводниковой продукции в городе Караганда, Республика Казахстан.

Потребителями научно–исследовательской работы были выбраны предприятия, которые производят кабели, провода и шнуры. К таким


предприятиям относится ТОО «Казцентрэлектропровод». Так же к потребителям относятся коммерческие организации, которые занимаются продажей, монтажом и обслуживанием приборов контроля качества кабельных изделий.

Сегментом этого рынка являются мелкие и средние промышленные предприятия, выпускающие кабельно-проводниковые изделия. Значимыми критериями для данного сегмента рынка, являются размер предприятия и выпускаемая продукция.

Карта сегментирования показана в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Карта сегментирования рынка

Размер предприятия	Технология контроля параметров провода			
	Контроль диаметра	Контроль длины	Контроль эксцентриситета	Контроль погонной емкости
Крупные				
Средние				
Мелкие				

 – Фирма «SIKORA»

 – Фирма «PROTON PRODUCTS GROUP»

По карте сегментирования можно сделать вывод, что основными потребителями нашей разработки являются средние и мелкие предприятия по производству кабельных изделий, где контроль качества осуществляется по контролю погонной емкости провода.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении.

Для сравнения были выбраны две коммерческие технологии контроля погонной емкости электрического провода:

– Технология контроля погонной емкости CAPACITANCE 2010 фирмы «Sikora»–Б_{к1};

– Технология контроля погонной емкости CG1010 фирмы «Proton Products Group»–Б_{к2};

– Технология контроля погонной емкости разработки – Б_ф

Данный анализ проводится с помощью оценочной карты, в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Диапазон измеряемой погонной емкости провода	0,09	5	4	5	0,45	0,36	0,45
2. Измеряемые диаметры провода	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36
3. Точность прибора	0,08	4	5	5	0,32	0,4	0,4
4. Скорость измерения	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
5. Помехоустойчивость	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24
6. Энергоэкономичность	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24
7. Надежность	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
8. Безопасность	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
9. Простота эксплуатации	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
10. Подключение к ЭВМ	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	4	5	5	0,2	0,25	0,25
3. Цена	0,06	5	4	4	0,3	0,24	0,24
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24
5. Послепродажное обслуживание	0,06	4	4	4	0,24	0,24	0,24
Итого	1				4,51	4,26	4,35

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i – го показателя.

После расчетов, средневзвешенные показатели составили:

для научной разработки $K_{\phi}=4,51$;

для прибора CAPACITANCE 2010 $K_{к1}=4,26$;

для прибора CG1010 $K_{к2}=4,35$.

При сравнении приборов измерения погонной емкости, можно судить о конкурентоспособности нашей технологии контроля погонной емкости. Преимуществом данной технологии контроля является широкий диапазон измерения погонной емкости провода, большой диапазон измеряемых диаметров, достаточно невысокая цена.

5.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения).

Показатели степени готовности научного проекта к коммерциализации приведены в таблице 5.3

Таблица 5.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации	5	5
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
4	Определена товарная форма научно-технического изделия для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6	Проведена оценка стоимости научно-технического проекта	4	4
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	3
12	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
13	Проработаны вопросы финансирования научной разработки	3	3
14	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	54	53

Оценка степени проработанности научного проекта к коммерциализации выше среднего – 54 балла. Оценка уровня имеющихся знаний у разработчика выше среднего – 53 балла. Перспективность научной разработки выше среднего

5.1.4 Методы коммерциализации результатов научно–технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (владелец интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Задачей

данного подраздела это выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности.

Исходя из коммерческого потенциала разрабатываемой технологии контроля параметров кабельно-проводниковых изделий, целесообразно на основе договора *инжиниринга* предоставить заказчику комплекс услуг по внедрению, усовершенствованию и обслуживанию приборов контроля качества кабельно-проводниковых изделий. Инжиниринг наиболее выгодный, с экономической точки зрения способ реализации, потому что заказчик оплачивает весь комплекс услуг, вплоть до обслуживания приборов контроля.

5.2 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы, определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта. Данная информация закрепляется в уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика, а также результат, который планируется создать.

Цели и результат проекта: разработка перспективных методов для контроля параметров качества проводов в производстве кабельных изделий.

Заинтересованные стороны проекта представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Качественное выполнение работы в установленные сроки
Исполнитель проекта	Разработка методов контроля параметров качества кабельных изделий

Информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей представлена в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка перспективных методов для контроля и измерения параметров качества кабельных изделий в процессе производства. Разработка ресурсоэффективного и экономически выгодного способа.
Ожидаемые результаты проекта:	Разработка методов контроля параметров электрического провода.
Критерии приемки результата проекта:	Выполнение всех разделов научного исследования.
Требования к результату проекта:	Выполнение работы в срок.

Организационная структура проекта. На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников. Участники рабочей группы представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции
1	Вавилова Галина Васильевна, отделение контроля и диагностики, доцент	Руководитель проекта	Координирует деятельность исполнителя проекта
2	Бердалинов Саян Садыкович, отделение контроля и диагностики, магистрант	Исполнитель проекта	Выполняет проектную работу

Ограничения и допущения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников проекта. (таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	7500
Источник финансирования	Бердалинов Саян Садыкович Вавилова Галина Васильевна
Сроки проекта	10.09.2018–01.06.2019
Дата утверждения плана управления проектом	01.12.2018
Дата завершения проекта	02.06.2019

5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

5.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 5.1 представлена иерархическая структура разработки проекта.



Рисунок 5.1 – Иерархическая структура работ

5.3.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела были определены ключевые события проекта, их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эта информация сведена в таблицу 5.8.

Таблица 5.8 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Постановка ТЗ	01.10.2018	Техническое задание
2	Подготовительные работы	20.10.2018	Отчеты НИРМ, обзор литературы
3	Теоретические и экспериментальные исследования	01.02.2019	Проведены теоретические исследования, поставлены эксперименты
4	Заключительный этап	01.05.2019	Магистерская диссертация

5.3.3 План проекта


















В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта (таблица 5.9).

Таблица 5.9 – Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Получение технического задания	10	01.10.2018	10.10.2018	И, НР
Постановка целей и задач	10	11.10.2018	20.10.2018	И, НР
Анализ задачи	10	21.10.2018	01.11.2018	И
Сбор информации	28	02.11.2018	30.11.2018	И
Изучение материалов по тематике	39	01.12.2018	08.01.2019	И
Изучение приборов и методов	11	09.01.2019	19.01.2019	И
Выбор приборов и методов	12	20.01.2019	31.01.2019	И
Создание экспериментальной модели	15	01.02.2019	15.02.2019	И, НР
Проведение экспериментов	23	16.02.2019	10.03.2019	И, НР
Анализ полученных результатов	21	11.03.2019	01.04.2019	И
Оформление материала	29	02.04.2019	30.04.2019	И
Подведение итогов	5	01.05.2019	10.05.2019	И, НР
Итого:	213			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками. В таблице 5.10 показан Диаграмма Ганта.

Таблица 5.10 – Диаграмма Ганта

Вид работ	Исполнители	Тк, кал., дн.	Продолжительность выполнения работ							
			2018			2019				
			10	11	12	01	02	03	04	05
Получение технического задания	И, НР	10	 							
Постановка целей и задач	И, НР	10	 							
Анализ задачи	И	10								
Сбор информации	И	28								
Изучение материалов по тематике	И	39								
Изучение приборов и методов	И	11								
Выбор приборов и методов	И	12								
Создание экспериментальной модели	И, НР	15					 			
Проведение экспериментальных исследований	И, НР	23						 		
Анализ полученных результатов	И	21								
Оформление материала	И	29								
Подведение итогов	И, НР	5								 

 – исполнитель,  – научный руководитель

5.3.4 Бюджет научного исследованиями

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

Сырье, материалы, специальное оборудование, покупные изделия

В эту статью включены затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов.

В стоимость материальных затрат включены транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены).

Стоимость сырья, материалов, специального оборудования, комплектующих изделий приведена в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Провод АПВ-1х2,5	20 м	6	120
Провод ПВ1-1х1,5	20 м	13	260
Провод ПВ3-1х1,5	20 м	14	280
Провод ПВС-1х0.75	20 м	16	320
Ванна пластмассовая	1	200	200
Изолента	6	50	300
Термоусадка	5 м	10	50
Термоклей	20 шт	5	100
Пистолет для термокля	1 шт	500	500
Всего за материалы			2130
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			106,5
Итого по статье См			2236,5

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением приборов, для технологии контроля параметров электрического провода, необходимого для проведения экспериментов. Стоимость приборов по договорной цене приведена в таблице 5.12

Таблица 5.12 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Измеритель емкости «САР-10»	1	25000	25000
2	АЦП USB3000	1	24510	24510
ИТОГО				49510

Основная заработная плата.

В настоящую статью включена основная заработная плата научных и инженерно-технических работников непосредственно участвующих в выполнении работ по теме. Величина расходов по заработной плате определена исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, включая премии, доплаты и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (5.2)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата руководителя и инженера (дипломника) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (5.3)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}} \quad (5.4)$$

где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя);

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 5.13).

Таблица 5.13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	118	118
– выходные дни	103	103
– праздничные дни	15	15
Потери рабочего времени	24	24
– на отпуск	24	24
Невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot K_p \quad (5.5)$$

где Z_b – базовый оклад, руб.,

K_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Из приказа № 5994 должностные оклады ППС, базовый оклад к.т.н. доцент, 26300 руб.

Базовый оклад (стипендия) исполнителя (магистранта) 1906 руб.

Расчет основной заработной платы сводится в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб.	K_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	Тр, раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	26300	1,3	34190	1717,17	63	108181,71
Исполнитель	1906	1,3	2477,8	124,44	213	26505,72
Итого						134687,43

Расчет заработной платы по дням сводится в таблице 5.15.

Таблица 5.15 – Расчет заработной платы по дням

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.- дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1	Получение технического задания	НР	10	1717,17	17171,7
		И	10	124,44	1244,4
2	Постановка целей и задач	НР	10	1717,17	17171,7
		И	10	124,44	1244,4
3	Анализ задачи	И	10	124,44	1244,4
4	Сбор информации	И	28	124,44	3484,32
5	Изучение материалов по тематике	И	39	124,44	4853,16
6	Изучение приборов и методов	И	11	124,44	1368,84
7	Выбор приборов и методов	И	12	124,44	1493,28
8	Создание эксперименталь ной модели	НР	15	1717,17	25757,55
		И	15	124,44	1866,6
9	Проведение эксперименталь ных исследований	НР	23	1717,17	39494,91
		И	23	124,44	2862,12
10	Анализ полученных результатов	И	21	124,44	2613,24
11	Оформление материала	И	29	124,44	3608,76
12	Подведение итогов	НР	5	1717,17	8585,85
		И	5	124,44	622,2
Итого					134687,43

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде. Дополнительная заработная плата рассчитывается

исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта:

$$З_{\text{доп}} = K_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (5.6)$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты, 10%;

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице 5.16 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 5.16 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Научный руководитель	Исполнитель
Основная зарплата, $З_{\text{осн}}$	108181,71	26505,72
Дополнительная зарплата, $З_{\text{доп}}$	10818,17	2650,57
Зарплата исполнителя $С_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}$	118999,88	29156,29
Итого по статье $С_{\text{зп}}$	148156,17	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды

$$С_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (5.7)$$

где $K_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Итого 30% от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИР:

$$С_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 148156,17 = 44446,85$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательской работы (таблица 5.17).

Таблица 5.17 – Калькуляция плановой себестоимости НИР

№ п/п	Наименование статей затрат	Сумма, руб.
1	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	2236,5
2	Специальное оборудование для научных (экспериментов) работ	49510
2	Основная заработная плата	134687,43
3	Дополнительная заработная плата	13468,74
4	Отчисления на социальные нужды	44446,85
5	Итого себестоимость НИР	244349,52

5.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} \quad (5.8)$$

где I_{ϕ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$\Phi_{pi}=244349,52$ – себестоимость НИР

$\Phi_{pi1} = 280000$ стоимость измерителя погонной емкости CAPACITANCE 2010 фирмы «Sikora»

$\Phi_{pi2} = 300000$ стоимость измерителя погонной емкости CG1010 фирмы «Proton Products Group»

$I_{\phi}^p = \frac{244349,52}{300000} = 0,81$ – интегральный финансовый показатель НИР

$I_{\phi}^{a1} = \frac{280000}{300000} = 0,93$ – интегральный финансовый показатель CAPACITANCE 2010

$I_{\phi}^{a2} = \frac{300000}{300000} = 1$ – интегральный финансовый показатель CG1010

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a \quad (5.9)$$

где I_m^p, I_m^a – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^p, b_i^a – балльная оценка i -го параметра для разработки и аналога;

n – Число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведён в таблице 5.18.

Таблица 5.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	НИР	CAPACITANCE 2010	CG1010
Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	5	5	5
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	4	4
Помехоустойчивость	0,1	4	5	5
Энергосбережение	0,2	4	4	5
Надежность	0,2	4	4	4
Материалоемкость	0,1	5	4	4
Итого	1	4,5	4,3	4,5

$I_m^p=4,5$ – интегральный показатель ресурсоэффективности НИР;

$I_m^{a1}=4,3$ – интегральный показатель ресурсоэффективности CAPACITANCE 2010;

$I_m^{a2}=4,5$ – интегральный показатель ресурсоэффективности CG1010.

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p}, \quad I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a} \quad (5.10)$$

$I_{финр}^p = \frac{4,5}{0,81} = 5,55$ – интегральный показатель эффективности НИР;

$I_{финр}^{a1} = \frac{4,3}{0,93} = 4,62$ – интегральный показатель эффективности CAPACITANCE 2010;

$I_{финр}^{a2} = \frac{4,5}{1} = 4,5$ – интегральный показатель эффективности CG1010.

Сравнение интегрального показателя эффективности текущей разработки и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 5.19) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финр}^a} \quad (5.11)$$

Таблица 5.19 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,81	0,93	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,5	4,3	4,5
3	Интегральный показатель эффективности	5,55	4,62	4,5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,2	1	0,97

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что разработка в магистерской диссертации является более эффективным вариантом решения задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Список публикаций

1. Бердалинов С. Исследование технологического процесса контроля качества кабелей связи // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов VII Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, 8-13 октября 2018г., г. Томск / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2018. — С.23

2. Бердалинов С. Контроль параметров электрического провода в технологической в линии // Вклад молодежной науки в реализацию Стратегии Казахстан – 2050: Тезисы докладов Республиканской студенческой научной конференции. Караганда, 11-12 апреля 2019. – Караганда: КарГТУ, 2019. – С.334–335.

3. Бердалинов С.С. Контроль параметров электрического провода при его производстве // Измерение. Контроль. Информатизация: материалы XX международной научно-технической конференции, Барнаул: АлГТУ, 2019. – принято к публикации.

4. Бердалинов С.С. Контроль параметров электрического провода при его производстве // Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации (Сагиновские чтения №11): труды Международной научно-практической конференции. Караганда, 13–14 июня 2019. – Караганда: КарГТУ, 2019. – принято к публикации.